ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1902 г. ТОМЪ 3 No. 4

Вольтова дуга.

А. А. Эйхенвальда [1].

Милостивыя Государыни и Милостивые Государи!

Около ста лѣтъ тому назадъ итальянскій физикъ Вольта устроилъ впервые гальваническую батарею изъ цинковыхъ и мѣдныхъ кружковъ, положенныхъ другъ на друга и попарно переложенныхъ сукномъ, смоченнымъ подкисленною водою. Эта батарея имѣла видъ столбика и получила названіе „вольтова столба". Вольтовъ столбъ тотчасъ же получилъ громкую извѣстность главнымъ образомъ потому, что давалъ возможность получать сильныя электрическія явленія и дѣлать цѣлый рядъ новыхъ интереснѣйшихъ опытовъ съ электрическимъ токомъ. Повторяя опыты Вольты, знаменитый англійскій химикъ Дэви замѣтилъ, что если соединить концы вольтова столба съ двумя соприкасающимися угольками, то они загораются пламенемъ ослѣпительной бѣлизны. Если угольки помѣщены горизонтально, то раскаленные газы этого пламени, будучи легче воздуха, поднимаются кверху, образуя между угольками свѣтящую дугу. А такъ какъ эта дуга получалась посредствомъ вольтова столба, то и была названа *вольтовой дугою.*

[1] Популярная лекція, читанная 28 Октября 1901 г. въ физической аудиторіи Императорскаго Московскаго Университета въ пользу Общества вспомоществованія учащимся женщинамъ въ Москвѣ. Всѣ опыты, описанные здѣсь, были показаны во время чтенія лекціи.

Одновременно съ Дэви въ Англіи эти опыты повторялись и въ другихъ мѣстахъ Европы, между прочимъ и у насъ въ Россіи. Если мы пороемся немного въ нашей университетской библіотекѣ, то найдемъ небольшую, пожелтѣвшую отъ времени книжечку съ слѣдующимъ заглавіемъ:

ИЗВѢСТІЕ
О
ГАЛЬВАНИ-ВОЛЬТОВСКИХЪ
ОПЫТАХЪ,
которые производилъ
Профессоръ Физики Василій Петровъ
посредствомъ огромной наипаче баттареи, состоявшей *иногда* изъ 4200 мѣдныхъ и цинковыхъ кружковъ и находящейся при Санкт-Петербургской Медико-Хирургической Академіи.

ВЪ САНКТ-ПЕТЕРБУРГѢ.
Въ Типографіи Государственной Медицинской Коллегіи, 1803 года.

Въ этой книжечкѣ мы прежде всего находимъ очень подробное описаніе, какъ нужно устраивать вольтовъ столбъ, какъ собирать его, чистить и приводить въ дѣйствіе. Затѣмъ описанъ цѣлый рядъ опытовъ другихъ ученыхъ и наконецъ новые опыты самого Петрова.

Раскрывъ эту книжку на страницѣ 163-ей, мы прочтемъ слѣдующее:

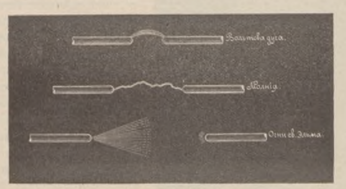
„Есть ли на стеклянную плитку или на скамеечку со стеклянными ножками будутъ положены *два или три древесныхъ угля, способные для произведенія свѣтоносныхъ явленій посредствомъ Гальвани-Вольтовской жидкости*, и естьли потомъ металлическими изолированными направлятелями (directores), сообщенными съ обоими полюсами *огромной* баттареи, приближать оные одинъ къ другому на разстояніе отъ одной до трехъ линѣй; то является между ними весьма яркій бѣлаго цвѣта свѣтъ или пламя, отъ котораго оные угли скорѣе или медлительнѣе загораются, и отъ котораго темный покой довольно ясно освѣщенъ быть можетъ".

Несомнѣнно, что въ этихъ словахъ мы имѣемъ уже зачатки современнаго примѣненія вольтовой дуги къ освѣщенію.

Повторимъ опытъ Петрова. Для этого намъ уже нѣтъ надобности имѣть вольтовъ столбъ; у насъ есть болѣе удобные и болѣе совершенные источники электрическаго тока, а именно—динамомашины.

Вотъ здѣсь два уголька, соединенные съ городскою электрическою сѣтью такъ, что между ними образуется электрическое напряженіе въ 100 вольтъ. Для того, чтобы получить вольтову дугу, намъ необходимо сблизить эти угли почти до соприкосновенія, ибо при такомъ небольшомъ напряженіи, какъ 100 вольтъ, замѣтной искры между ними перескочить не можетъ; искра, получаемая при 100 вольтахъ, была бы всего въ нѣсколькихъ сотыхъ миллиметра длиною. Но разъ мы соединили между собою оба уголька и получили вольтову дугу, то можемъ начать раздвигать угольки: дуга будетъ удлиняться, не прерываясь, и при благопріятныхъ условіяхъ можетъ быть доведена до длины въ 10 cm.

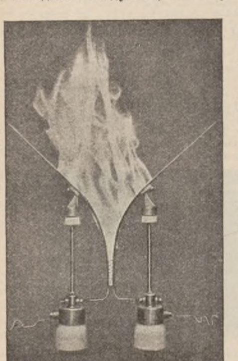
Можно получить вольтову дугу еще иначе. Возьмемъ двѣ проволоки и соединимъ ихъ съ электрическою машиною или со спиралью Румкорфа и приведемъ послѣднюю въ дѣйствіе. Если свободные концы проволокъ удалены другъ отъ друга на значительное разстояніе, то мы видимъ (фиг. 1) лишь слабое сіяніе,



Фиг. 1 (Различные типы эл-ой искры)

напоминающее собою явленіе, извѣстное подъ именемъ огней св. Эльма. Сближая эти концы, мы получаемъ искру вродѣ молніи. При дальнѣйшемъ сближеніи, искры слѣдуютъ одна за другою все чаще и чаще, дѣлаются шире и свѣтлѣе и наконецъ образуютъ вольтову дугу. Значитъ вольтова дуга есть не что иное, какъ непрерывный рядъ искръ. Какъ же объяснить въ такомъ

случаѣ необходимость сближать угли до соприкосновенія для полученія вольтовой дуги? Почему напряженіе въ 100 вольтъ не достаточно для образованія искръ, но достаточно для ихъ поддержанія? Это объясняется тѣмъ, что при обыкновенной температурѣ воздухъ плохой проводникъ электричества, но раскаленные пары угля или металловъ проводятъ токъ довольно хорошо. Когда мы, соединяя угольки, получили искорку хотя бы въ одну сотую миллиметра, то мы тѣмъ самымъ образовали между угольками проводящій мостикъ изъ раскаленныхъ паровъ, который можно удлинять постепенно до значительныхъ размѣровъ, не прекращая тока. Но разъ только дуга оборвалась и замѣщена холоднымъ воздухомъ, то она уже не можетъ возстановиться сама собою, а для ея полученія нужно вновь сблизить концы угольковъ до соприкосновенія.

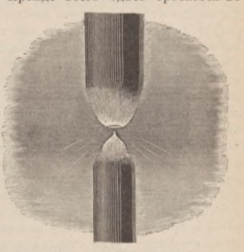

Фиг. 2 (Вольтова дуга на трансформаторѣ)

Вотъ я сближаю угольки, появляется яркая вольтова дуга; я растягиваю ее до длины около 5 cm. и наконецъ сдуваю ее; Вы видите, что свѣченіе исчезло и новой дуги не появляется. Разстояніе, на которое можно растянуть такимъ образомъ дугу, зависитъ, конечно, отъ электрическаго напряженія между углями, но также отъ силы тока и отъ состава тѣхъ раскаленныхъ газовъ, которые образуютъ вольтову дугу. При высокихъ напряженіяхъ и большой силѣ тока, вольтова дуга представляетъ собою замѣчательно красивое явленіе.

Чтобы показать вамъ это, я поставилъ здѣсь трансформаторъ, т. е. приборъ, который позволяетъ преобразовать 100 вольтовый токъ сѣти электрическаго освѣщенія въ токъ съ напряженіемъ въ 10000 вольтъ. На этомъ трансформаторѣ установлены

двѣ мѣдныя проволоки, согнутыя дугообразно (фиг. 2), причемъ внизу разстояніе между проволоками всего 5 mm., тогда какъ наверху 30 cm. Однако, несмотря на существованіе между этими проволоками пятимиллиметроваго промежутка, искра даже 10000 вольтовая и здѣсь перескочить не можетъ. Но стоитъ мнѣ только замкнуть этотъ промежутокъ уголькомъ, придѣланнымъ къ стеклянной ручкѣ [1]), какъ тотчасъ образуется вольтова дуга, которая, извиваясь ярко-красною лентою, поднимается вверхъ по проволокамъ и одновременно съ поднятіемъ удлиняется; достигнувъ длины 30—40 cm., она обрывается и затухаетъ. Я снова дотрогиваюсь уголькомъ до узкаго мѣста и снова мы получаемъ тоже явленіе.

Познакомимся однако поближе съ явленіемъ вольтовой дуги, и взглянемъ для этого на экранъ, гдѣ теперь проектируются въ огромномъ масштабѣ два вертикальныхъ угля, и между ними пламя вольтовой дуги (фиг. 3). Прежде всего здѣсь бросается въ глаза то обстоятельство, что угли эти имѣютъ концы различной формы; верхній уголь, соединенный съ положительнымъ полюсомъ динамомашины, имѣетъ тупой конецъ, въ которомъ образовалась выемка или кратеръ ослѣпительной бѣлизны; нижній уголь — отрицательный — напротивъ того заостренный и едва едва раскаливается; соединяющая оба угля вольтова дуга фіолетоваго цвѣта свѣтитъ очень слабо. Изъ этого мы можемъ заключить, что, по всей вѣроятности, самая высокая температура развивается у кратера положительнаго угля, откуда исходитъ и самый яркій свѣтъ. Продолжая наши наблюденія достаточно долго, мы могли бы замѣтить, что оба угля понемногу сгораютъ, но положительный уголь сгораетъ гораздо быстрѣе, почти въ 5/2 раза



Фиг. 3 (Вольтова дуга между углями)

[1]) Непосредственное прикосновеніе ко вторичной обмоткѣ трансформатора крайне опасно для жизни.

быстрѣе, чѣмъ отрицательный уголь. Болѣе быстрое сгораніе положительнаго угля мы, пожалуй, могли бы привести въ связь съ болѣе высокою его температурою; но почему именно его температура выше, чѣмъ у отрицательнаго угля, этого мы объяснить до сихъ поръ не умѣемъ. И вообще нужно сказать, что о всѣхъ физическихъ явленіяхъ, сопровождающихъ или обусловливающихъ вольтову дугу, физики знаютъ еще очень мало.

Но жизнь не можетъ ждать пока физики разберутся въ этомъ, повидимому, сложномъ явленіи, а беретъ себѣ все, даже и непонятное съ научной точки зрѣнія, лишь бы оно приносило какую-либо практическую пользу. Вотъ объ этихъ то примѣненіяхъ вольтовой дуги мнѣ и придется съ вами говорить сегодня.

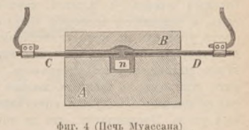
Температура вольтовой дуги.

Еще профессоръ Петровъ обратилъ вниманіе на высокую температуру вольтовой дуги и мы видимъ на экранѣ, что положительный уголь раскаленъ до-бѣла. Дѣйствительно эта температура настолько высока, что при ней всѣ существующіе металлы не только плавятся, но и обращаются въ пары. Вотъ теперь я помѣщаю въ вольтову дугу желѣзный гвоздь; вы видите это на экранѣ; гвоздь мгновенно плавится и отъ него разлетаются во всѣ стороны брызги жидкаго желѣза; нѣсколько капель попало на угли, гдѣ онѣ кипятъ и испаряются. Температура плавленія желѣза 1600°; но, если бы мы вмѣсто желѣза сдѣлали тотъ же опытъ съ платиною или съ иридіемъ, температура плавленія которыхъ доходитъ до 2000°, то получили бы тотъ же результатъ. Болѣе того: вы видите, что теперь къ положительному углю подводится бѣлый ноздреватый осколокъ, — это кусочекъ такъ называемаго „огнеупорнаго" кирпича; но и онъ не въ состояніи противустоять жару вольтовой дуги: его ближайшая къ положительному углю сторона покрывается жидкою кипящею массою.

Интересно было бы знать, какъ высока темперарура вольтовой дуги. Смѣрить ее термометромъ мы не можемъ, такъ какъ для такого термометра не нашлось бы подходящаго матеріала. Къ счастію мы имѣемъ другой способъ для измѣренія этой температуры. Въ послѣднее время цѣлый рядъ ученыхъ работалъ надъ вопросомъ о связи между температурою накаленнаго тѣла и силою свѣта имъ испускаемаго, и теперь мы уже имѣемъ достаточно точныя формулы, связывающія эти двѣ величины; по-

этому, стоитъ только смѣрить яркость какого-либо накаленнаго тѣла и мы можемъ вычислить его температуру по формулѣ. Значитъ, вмѣсто термометра, мы можемъ употреблять фотометръ. Вотъ изъ такихъ-то фотометрическихъ измѣреній температура вольтовой дуги оказалась въ 3500°! Это самая высокая температура, которую только можно получить теперь въ лабораторіи. Понятно, что при такой высокой температурѣ всѣ извѣстныя намъ твердыя тѣла плавятся и нѣкоторыя изъ нихъ даже обращаются въ пары. Замѣтимъ, что сами угли, между которыми образуется вольтова дуга, превращаются непосредственно изъ твердаго тѣла въ пары, не плавясь.

Французскій химикъ Муассанъ, желая изслѣдовать химическія реакціи, происходящія при высокихъ температурахъ, примѣнилъ для этого вольтову дугу и построилъ особую электрическую печь. Устройство этой печи поразительно простое. Представьте себѣ небольшой кусокъ негашеной извести *A* (фиг. 4), съ выемкой посрединѣ для помѣщенія тигелька *n*, у котораго сходятся два угля *C* и *D*; все это закрывается известковою крышкою *B*. Если соединить эти угли съ какимъ-нибудь источникомъ электрическаго тока, то около тигелька образуется вольтова дуга и нагрѣваетъ помѣщенныя въ него вещества, подлежащія изслѣдованію. Известь, изъ которой сдѣлана печь, такъ плохо проводитъ тепло, что въ то время, какъ внутри печи мы имѣемъ сильнѣйшій жаръ въ 3500°, снаружи ее можно долгое время трогать руками.



Фиг. 4 (Печь Муассана)

При помощи такой печи Муассанъ сдѣлалъ множество новыхъ и важныхъ открытій. Онъ расширилъ наши познанія относительно происходящихъ при высокихъ температурахъ химическихъ и физическихъ превращеній. Муассаномъ и его учениками былъ открытъ цѣлый рядъ новыхъ химическихъ соединеній, изъ которыхъ особенно обращаютъ на себя вниманіе соединенія металловъ съ углеродомъ, такъ называемые карбиды. Изъ карбидовъ наибольшее распространеніе получилъ карбидъ кальція, который при соединеніи съ водою даетъ ацетиленъ. Ацетиленъ, какъ извѣстно, есть газъ, горящій чрезвычайно яркимъ пламе-

немъ и потому могущій служить для освѣщенія. Техника сейчасъ же воспользовалась новымъ болѣе дешевымъ полученіемъ ацетилена и стала строить электрическія печи для добыванія карбида кальція въ большомъ масштабѣ. Началась отчаянная конкуренція и эта отрасль промышленности стала разростаться такъ быстро, что теперь уже замѣчается даже перепроизводство карбида кальція. Замѣтьте, что только въ 1892 году Муассанъ въ первый разъ опубликовалъ устройство своей печи, гдѣ онъ получилъ нѣсколько кусочковъ карбида кальція, а теперь одинъ 1900 годъ далъ этого карбида около 100000 тоннъ! Это одинъ изъ разительныхъ примѣровъ, какъ изъ ничтожныхъ по размѣру сѣмянъ, полученныхъ въ лабораторіи, выростаютъ въ техникѣ гигантскія деревья.

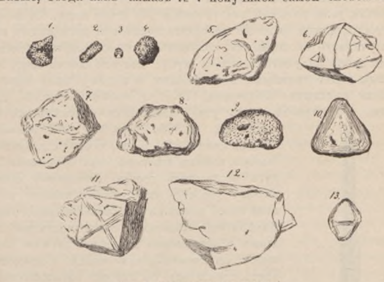
Я не имѣю возможности останавливаться на всѣхъ работахъ Муассана съ электрическою печью, укажу только еще на одну, а именно,—ему въ первый разъ удалось получить искуственный алмазъ [1]). Алмазъ, какъ извѣстно, есть чистый углеродъ, и вся задача состоитъ только въ томъ, чтобы получить этотъ углеродъ въ кристаллическомъ видѣ. Изслѣдуя разные виды углерода и исходя изъ того факта, что кристаллы обыкновенно выдѣляются изъ растворовъ, Муассанъ пробовалъ растворять углеродъ въ жидкомъ желѣзѣ, но изъ такихъ растворовъ ему не удавалось получить кристалловъ: всегда выдѣлялся аморфный уголь. Предполагая, что на форму, въ которой выдѣляется углеродъ изъ раствора, вліяетъ также и давленіе, Муассанъ рѣшилъ охлаждать жидкое желѣзо подъ высокимъ давленіемъ. Но какъ это сдѣлать? Послѣ многихъ безплодныхъ попытокъ Муассанъ и здѣсь нашелъ замѣчательно простой выходъ. Онъ продѣлалъ въ днѣ своей электрической печи отверстіе и подъ печью поставилъ сосудъ съ водою. Вводимое въ печь желѣзо расплавлялось, насыщалось углеродомъ, находящимся въ вольтовой дугѣ, и капельки этого насыщеннаго углеродомъ желѣза падали прямо въ холодную воду; здѣсь наружная оболочка каждой капельки быстро охлаждалась и своимъ сокращеніемъ производила громадное давленіе на не остывшее еще внутри ея желѣзо. Когда полученные такимъ образомъ маленькіе желѣзные шарики

---

[1]) Имѣющіеся въ продажѣ поддѣльные алмазы сдѣланы изъ сильно преломляющаго стекла особаго состава и ничего общаго съ искуственными алмазами Муассана не имѣютъ.

были вынуты изъ воды и обработаны различными кислотами для удаленія желѣза, то оказалось, что внутри себя они содержатъ микроскопическія тѣльца болѣе или менѣе правильной формы. Самый точный химическій анализъ показалъ, что эти тѣльца были не что иное, какъ чистый кристаллическій углеродъ, т. е. алмазы! Правда, эти алмазы были очень малы и непрочны, самый большой изъ нихъ достигалъ едва полумиллиметра, но это несущественно; уже самый фактъ полученія лабораторнымъ путемъ *настоящихъ* алмазовъ съ научной точки зрѣнія очень важенъ.

Ниже помѣщены рисунки (фиг. 5), полученныхъ Муассаромъ алмазовъ, изъ которыхъ я обращу ваше вниманіе на слѣдующіе: отъ № 1 до № 4 — алмазы чернаго цвѣта, № 5 и № 6 — желтоватые, тогда какъ алмазъ № 7 получился самой чистой воды;



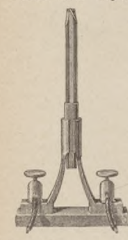
фиг. 5 (Искуственные алмазы)

№ 8 и № 9 — алмазы съ черными точками и № 12 — ноздреватый интересны тѣмъ, что очень похожи на натуральные алмазы, встрѣчающіеся въ Бразиліи; № 13 — алмазъ замѣчательно правильной формы.

Свѣтъ вольтовой дуги.

Съ самаго начала мы уже обратили вниманіе на сильный свѣтъ, издаваемый вольтовой дугою, „отъ котораго", по словамъ

В. Петрова, „темный покой довольно ясно освѣщенъ быть можетъ". И дѣйствительно, всѣмъ извѣстны примѣненія въ настоящее время вольтовой дуги для освѣщенія, и я на нихъ останавливаться не буду; однако замѣчу сейчасъ же, что на первыхъ порахъ примѣненію вольтовой дуги для освѣщенія препятствовало то обстоятельство, что угли сгораютъ. Древесные угли, употреблявшіеся въ первое время для опытовъ, сгорали уже въ нѣсколько минутъ; однако и употребляемые въ настоящее время графитовые угли, хотя и гораздо медленнѣе, но тоже сгораютъ и притомъ неравномѣрно; положительный уголь, какъ я уже говорилъ, сгораетъ почти въ 5/2 раза быстрѣе отрицательнаго. По мѣрѣ сгоранія углей дуга дѣлается длиннѣе и наконецъ обрывается. Для того, чтобы поддерживать дугу одной и той же длины, необходимо было придумать особые регуляторы, которые бы сближали угли по мѣрѣ ихъ сгоранія. Но этого мало. Тѣ же регуляторы должны были до появленія вольтовой дуги или во время случайнаго ея перерыва, сближать угли до соприкосновенія, чтобы вновь получить вольтову дугу. Все это достигалось болѣе или менѣе сложными механизмами и потому мало пригодными на практикѣ. Яблочковъ (1877 г.) избѣжалъ этого, примѣнивъ два параллельныхъ угля, питаемыхъ перемѣннымъ токомъ (фиг. 6). Оба угля въ такъ называемой свѣчѣ Яблочкова, сгорали одинаково быстро, потому что токъ былъ перемѣнный, и дуга получалась всегда одинаковой длины, потому что оба угля стояли рядомъ и по всей своей длинѣ на одинаковомъ разстояніи. Изобрѣтеніе Яблочкова сразу поставило вопросъ о примѣненіи вольтовой дуги къ освѣщенію на практическую почву и представляетъ собою эру въ исторіи электрическаго освѣщенія. Теперь впрочемъ свѣча Яблочкова уже отжила свой вѣкъ; явились новые болѣе экономическіе регуляторы простого устройства, которые вытѣснили свѣчу Яблочкова.



Фиг. 6 (Свѣча Яблочкова)

Электрическій свѣтъ вольтовой дуги, какъ вы знаете, ослѣпительно-бѣлаго цвѣта; если рядомъ съ вольтовой дугою зажечь калильную лампочку, то она намъ покажется красноватою; обыкновенная свѣча или газовый рожокъ горятъ еще болѣе краснымъ свѣтомъ. Чтобы уяснить

себѣ причину такой разницы въ цвѣтѣ, сдѣлаемъ слѣдующій опытъ: возьмемъ обыкновенную калильную лампочку и пустимъ въ нее токъ чрезъ большое сопротивленіе. При слабомъ токѣ уголекъ лампочки едва-едва накаляется; я усиливаю токъ, уменьшая сопротивленіе, уголекъ накаливается до-красна; при дальнѣйшемъ возрастаніи тока каленіе лампочки усиливается, красный цвѣтъ становится свѣтлѣе и постепенно переходитъ въ бѣлый; я еще болѣе увеличиваю токъ, цвѣтъ уголька дѣлается ослѣпительно-бѣлымъ; но вдругъ уголекъ перегораетъ и лампочка тухнетъ. Ясно, что уголекъ перегорѣлъ отъ высокой температуры, но точно также ясно, что съ повышеніемъ температуры въ этомъ опытѣ свѣтъ раскаленнаго уголька дѣлался все бѣлѣе и бѣлѣе. Такое явленіе наблюдается не только при накаливаніи электрическимъ токомъ, но и при всякомъ каленіи; всѣ, кому приходилось быть на сталелитейномъ заводѣ, знаютъ, что бѣлое каленіе указываетъ всегда на болѣе высокую температуру, чѣмъ красное. Температура вольтовой дуги, какъ мы видѣли, очень высока, и намъ понятно, почему свѣтъ ея такой бѣлый.

Но что такое значитъ—цвѣтъ бѣлый? Съ физической точки зрѣнія это значитъ, что къ краснымъ лучамъ, получаемымъ при слабомъ каленіи, вмѣстѣ съ повышеніемъ температуры прибавляются новые лучи: лучи желтые, зеленые, голубые, фіолетовые, и смѣсь всѣхъ этихъ цвѣтовъ даетъ впечатлѣніе бѣлаго цвѣта.

И дѣйствительно, стоитъ лишь повторить только-что сдѣланный нами опытъ съ калильною лампочкою, смотря на уголекъ сквозь призму, и мы увидимъ спектръ, который при низкихъ температурахъ будетъ состоять только изъ небольшой красной полоски, но который съ усиленіемъ тока въ лампочкѣ, т. е. съ повышеніемъ температуры каленія будетъ все расширяться и расти къ фіолетовому концу. Естественно теперь сдѣлать предположеніе, что въ спектрѣ вольтовой дуги, гдѣ температура такъ высока, мы будемъ имѣть обиліе фіолетовыхъ, а можетъ быть и ультрафіолетовыхъ лучей. И это наше предположеніе вполнѣ оправдывается на опытѣ.

Чтобы имѣть спектръ вольтовой дуги, я ставлю передъ нею щель и посредствомъ линзы проектирую эту щель на экранѣ. Теперь я помѣщаю передъ линзою призму, и мы видимъ роскошный спектръ, развернувшійся передъ нами отъ краснаго до фіолетоваго конца. Еще дальше фіолетовыхъ лучей имѣются здѣсь ультрафіолетовые, но наши глаза ихъ видѣть не могутъ. Чтобъ

обнаружить эти лучи, нужны особые пріемы, которые мы и примѣнимъ сейчасъ же. Но прежде позвольте мнѣ показать слѣдующій опытъ.

Передъ вами стоитъ каммертонъ; я привожу его въ звученіе смычкомъ и вы слышите, что онъ издаетъ звукъ, но вы не видите, что его ножки быстро колеблются. Вы не можете видѣть глазомъ этихъ колебаній потому, что они слишкомъ малы и слишкомъ быстры. Однако можно обнаружить эти колебанія, если поднести къ камертону шарикъ, подвѣшанный на ниткѣ: какъ только шарикъ коснется камертона, онъ тотчасъ же отскакиваетъ, приходитъ въ колебанія съ бо́льшимъ розмахомъ и достаточно медленныя, чтобы можно было услѣдить за ними глазомъ. Такимъ образомъ, быстрыя колебанія камертона мы превратили въ медленныя колебанія шарика.

Аналогичный опытъ мы можемъ сдѣлать и со свѣтовыми колебаніями. Ультрафіолетовые лучи очень слабы и ихъ колебанія слишкомъ часты для того, чтобы глазъ могъ воспринять эти колебанія; но вотъ я помѣщаю на пути этихъ лучей линейку уранового стекла или экранъ, окрашенный платиново-баріевою солью, и невидимые ультрафіолетовые лучи возбуждаютъ въ урановомъ стеклѣ или въ экранѣ видимое зеленовато-желтое свѣченіе; т. е. быстрыя ультрафіолетовыя колебанія превращаются здѣсь въ свѣтовыя колебанія болѣе медленныя и потому видимыя нашимъ глазомъ. Такимъ способомъ мы можемъ обнаружить существованіе ультрафіолетовыхъ лучей далеко за предѣлами видимаго спектра вольтовой дуги.

Ультрафіолетовые лучи замѣчательны по своимъ химическимъ дѣйствіямъ; они дѣйствуютъ на фотографическую пластинку. И это я сейчасъ постараюсь показать вамъ на опытѣ. Я помѣщаю теперь въ темную, т. е. въ невидимую часть спектра длинную полосу свѣточувствительной (бромо-желатинной) бумаги; хотя она помѣщена въ темнотѣ, но на нее уже начали дѣйствовать ультрафіолетовые лучи; послѣ достаточно долгаго дѣйствія слѣдовало бы эту бумагу подвергнуть обыкновенному проявленію для того, чтобы обнаружить ея почерненіе; но, не желая задерживать васъ проявленіемъ, я уже заранѣе окунулъ эту бумагу въ проявитель, такъ что теперь, пока я объяснялъ вамъ опытъ, наша бумага одновременно и экспонировалась и проявлялась; теперь я освѣщаю аудиторію и вы видите результатъ: верхняя часть бумаги была внѣ спектра и осталась бѣлою; это

доказываетъ, что неизбѣжный даже въ затемненной аудиторіи посторонній свѣтъ не оказалъ на нее замѣтнаго дѣйствія; нижняя часть бумаги сильно почернѣла за исключеніемъ тѣхъ мѣстъ, гдѣ я держалъ ее руками; мои руки давали тѣнь въ ультрафіолетовомъ свѣтѣ и ихъ контуры ясно обрисовались.

Укажу еще на одно важное свойство ультрафіолетовыхъ лучей, благодаря которымъ вольтова дуга получила новыя примѣненія.

Всѣмъ извѣстно, что лучи солнца дѣйствуютъ на человѣческую кожу и производятъ такъ называемый загаръ. Изслѣдованія показали, что загаръ причиняется главнымъ образомъ тѣми же лучами, которые отличаются и по своимъ химическимъ дѣйствіямъ. Поэтому понятно, что отъ свѣта вольтовой дуги тоже получается загаръ и даже въ болѣе сильной степени, чѣмъ отъ солнца. Продолжительное дѣйствіе свѣта вольтовой дуги можетъ вызвать даже болѣзненное, воспалительное состояніе кожи и въ особенности глазъ, и каждый, кому приходится работать съ незащищенной вольтовой дугой, долженъ надѣвать маску и черные очки, чтобъ оградить себя отъ вредныхъ физіологическихъ дѣйствій ея лучей. Эти физіологическія дѣйствія распространяются и на другія живыя существа, между прочимъ и на бактеріи. Нѣкоторыя бактеріи, какъ напримѣръ бактеріи тифа и холеры, положительно не могутъ жить при ультрафіолетовомъ освѣщеніи, такъ что солнечный свѣтъ, а въ особенности свѣтъ вольтовой дуги можетъ служить прекраснымъ дезинфицирующимъ средствомъ. Впрочемъ дезинфекція достигается такимъ способомъ только на поверхности, такъ какъ внутрь тѣла лучи не проникаютъ.

Въ особенности замѣчательны изслѣдованія, сдѣланныя по этому вопросу докторомъ Финзеномъ въ Даніи. Работы его отличаются такою обдуманностью и сознательностью въ постановкѣ опыта, что передъ ними остается только преклониться. Вотъ одинъ изъ его опытовъ. Въ небольшой склянкѣ (фиг. 7) съ плоскими стѣнками, наполненной какимъ-нибудь питательнымъ веществомъ, посѣяна культура бактерій. На стѣнкѣ этой склянки написаны тушью цифры, и каждая часть склянки съ одною цифрою подвергалась дѣйствію солнечнаго свѣта какъ разъ столько минутъ, сколько обозначено соотвѣтствующею цифрою. Такимъ образомъ то мѣ-



Фиг. 7 (Опытъ Финзена)

сто, гдѣ была написана единица, освѣщалось одну минуту, гдѣ нарисована девятка—девять минутъ и т. д. Когда по истеченіи нѣкотораго времени тушь была смыта, то оказалось, что всѣ цифры были отпечатаны на питательномъ веществѣ бактеріями, потому что тамъ, гдѣ дѣйствовалъ свѣтъ, бактеріи умирали, а въ тѣни, подъ тушью онѣ продолжали жить и развиваться. Съ помощью такихъ культуръ бактерій мы могли бы получить отпечатокъ съ любого ландшафта или портрета, какъ на фотографической бумагѣ. Но опытъ съ цифрами изъ туши даетъ намъ больше. Разсматривая эти отпечатки внимательно, мы видимъ, что нѣкоторыя цифры вышли отчетливо, другія нѣтъ; такъ напримѣръ единица, поставленная въ томъ мѣстѣ, гдѣ свѣтъ дѣйствовалъ въ продолженіи одной минуты, совершенно не обрисовалась, тогда какъ цифра девять вышла рѣзко. Отсюда мы заключаемъ, что одной минуты недостаточно для того, чтобы убить всѣхъ бактерій въ скляночкѣ, но въ девять минутъ онѣ уничтожаются совершенно. Можно сказать, что бактеріи, сами того не подозрѣвая, показываютъ, сколько времени нужно потратить, чтобы убить ихъ свѣтомъ.

Скляночка Финзена напоминаетъ собою обыкновенный сенситометръ, служащій для опредѣленія чувствительности фотографическихъ пластинокъ и бумагъ. Понятно, что результаты такихъ опытовъ надъ убиваніемъ бактерій свѣтомъ только тогда могутъ имѣть научное значеніе, если будетъ извѣстно какова была сила свѣта въ данномъ опытѣ и какого цвѣта былъ этотъ свѣтъ. Финзенъ и его ученики не оставили этого безъ вниманія; они призмою разлагали солнечный свѣтъ на отдѣльные цвѣта и измѣряли его силу фотометромъ.

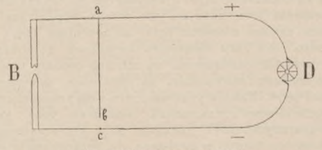
Лѣтъ пять тому назадъ Финзенъ примѣнилъ дезинфицирующее свойство свѣта къ лѣченію волчанки, и теперь его методомъ съ успѣхомъ пользуются во всѣхъ странахъ Европы. Волчанка — это накожная болѣзнь, причиняемая туберкулезными бациллами; она съ трудомъ поддается какому бы то ни было лѣченію, но свѣтомъ излѣчивается совершенно. Пользоваться для этого солнечнымъ свѣтомъ не всегда удобно и не всегда возможно, въ особенности въ Даніи и другихъ сѣверныхъ странахъ, гдѣ солнце не часто балуетъ людей своимъ посѣщеніемъ, и вотъ приходится прибѣгать къ искуственному; „электрическому солнцу", и здѣсь-то богатый химическими лучами свѣтъ вольтовой дуги оказываетъ важную услугу.

Звуки, издаваемые вольтовой дугою.

Мы уже познакомились теперь съ двумя свойствами вольтовой дуги давать сильный жаръ и сильный свѣтъ, но оказывается, что она способна издавать и звуки, и даже весьма разнообразные. Это неожиданное открытіе сдѣлано было въ недавнее время совершенно случайно Дудделемъ въ Англіи. Какимъ же образомъ объяснить себѣ вообще возможность возникновенія звуковъ въ вольтовой дугѣ? Объясняется это слѣдующимъ образомъ. Вольтова дуга, какъ мы уже знаемъ, образована изъ раскаленныхъ газовъ и паровъ угля, по которымъ идетъ электрическій токъ. Эти газы образуютъ небольшой комочекъ между углями, который оказывается въ высшей степени чувствительнымъ ко всякимъ измѣненіямъ въ силѣ тока, проходящаго по вольтовой дугѣ. Каждое усиленіе этого тока увеличиваетъ и температуру и объемъ этихъ газовъ; ослабленіе тока, наоборотъ, имѣетъ противуположное дѣйствіе. Если эти ослабленія и усиленія дѣлаются быстро и ритмично, то происходящія отъ этого пульсаціи вольтовой дуги передаются воздуху и, доходя до нашего уха, ощущаются нами въ видѣ звука. Впрочемъ человѣческое ухо можетъ слышать только такія колебанія воздуха, которыя происходятъ не рѣже 10 и не чаще 10000 разъ въ секунду; поэтому только такія частыя измѣненія въ силѣ тока, которыя лежатъ между этими предѣлами, и произведутъ звучаніе вольтовой дуги. Наша центральная Московская станція даетъ перемѣнный токъ, мѣняющій 100 разъ въ секунду свое направленіе; если пустить этотъ токъ въ вольтову дугу, что я сейчасъ и дѣлаю, то мы услышимъ довольно низкій звукъ или гудѣніе, число колебаній котораго соотвѣтствуетъ числу колебаній перемѣннаго тока въ секунду (опытъ).

На это вы можете мнѣ замѣтить, что гудѣніе вольтовой дуги перемѣннаго тока было уже давно извѣстно и объясненіе этого гудѣнія дано было тоже давно, но оно повидимому не объясняетъ опыта Дудделя, у котораго дуга была постояннаго тока, а не перемѣннаго. Однако, какъ сейчасъ увидимъ, это не совсѣмъ такъ. Дѣйствительно токъ, питающій дугу Дудделя, былъ постоянный, но благодаря особому расположенію приборовъ онъ частью превращался въ перемѣнный и заставлялъ вольтову дугу звучать.

Разсмотримъ подробнѣе слѣдующую схему (фиг. 8). Пусть отъ динамомашины D идетъ постоянный токъ чрезъ дугу B и пусть гдѣ-нибудь на пути мы прикрѣпили кусокъ проволоки ab. Если по DaB идетъ вполнѣ постоянный токъ, то проволока ab зарядится электричествомъ и такъ останется заряженною во все время прохода тока. Но представьте себѣ, что по какой-либо причинѣ (а такихъ причинъ можетъ быть очень много) горѣніе дуги измѣнилось и токъ ее питающій внезапно усилился; тогда сейчасъ же равновѣсіе электричества на проволокѣ ab измѣнится; новое ко-

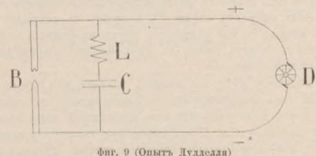


фиг. 8 (Схема звучащей дуги)

личество его устремится по ab, дойдетъ до конца b, отразится отъ него и новою волною потечетъ по ba въ дугу. Итакъ каждый толчокъ, возникшій въ горѣніи вольтовой дуги, повлечетъ за собою второй толчокъ, отраженный отъ конца b. Однако и этимъ дѣло еще не кончится; второй толчокъ вызоветъ такимъ же образомъ третій, четвертый и т. д., пока эти электрическія колебанія не успокоятся. Впрочемъ совершеннаго прекращенія колебаній опасаться нечего, потому что, какъ уже сказано, вольтова дуга не можетъ горѣть абсолютно ровно, и всегда найдется достаточно причинъ для возникновенія новыхъ колебаній.

Теперь зададимся вопросомъ, какой длины нужно взять проволоку ab, чтобы электрическія колебанія въ дугѣ происходили напримѣръ 300 разъ въ секунду, т. е. чтобы вольтова дуга издавала звукъ, близко подходящій къ mi-бемоль (который пишется при скрипичномъ ключѣ на нижней строчкѣ). Для этого необходимо, какъ это видно изъ только-что приведенныхъ нами разсужденій, чтобы электричество успѣвало пройти путь Bab и обратно 300 разъ въ секунду; а такъ какъ скорость распространенія электричества при такихъ условіяхъ равна 300000 километровъ въ секунду, то длина Bab (строже говоря, длина $cBab$) должна быть

300000/2.300 = 5000 километровъ. Такая громадная длина прямой проволоки, конечно, невозможна на опытѣ и получилась у насъ потому, что скорость движенія электричества громадна. Однако мы можемъ замедлить возвратъ электричества обратно на проводникѣ *ba*, если на его концѣ помѣстимъ конденсаторъ; тогда на зарядъ этого конденсатора электричествомъ потребуется нѣкоторое время, и проволоку *ab* можно будетъ взять короче. Можно примѣнить еще и другой способъ; если проволоку *ab* свить спиралью, то внутри такой спирали, обтекаемой токомъ, возникаетъ, какъ извѣстно, магнитное поле; на это тоже требуется нѣкоторое время. Если величину, характеризующую магнитное



фиг. 9 (Опытъ Дудделля)

поле спирали, или такъ называемую ея самоиндукцію обозначить чрезъ L, а емкость конденсатора — чрезъ C, то теорія показываетъ, что время колебанія электричества будетъ $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Комбинируя емкость съ самоиндукціею, мы легко получимъ желаемый результатъ съ весьма скромными размѣрами проводовъ.

Такая система проводниковъ, какъ L и C (фиг. 9), носитъ названіе электрическаго резонатора, ибо она вполнѣ аналогична резонаторамъ, встрѣчающимся въ акустикѣ [1]). Мы можемъ даже сдѣлать акустическій опытъ вполнѣ аналогичный дудделлевскому. Вы знаете, вѣроятно, что такое поющее газовое пламя или такъ

[1]) Кому случится видѣть схему Герца для полученія частыхъ электрическихъ колебаній, тотъ замѣтитъ сходство ея съ этою схемою Дудделля; разница только въ томъ, что тамъ, гдѣ у Герца искра, здѣсь — вольтова дуга, а индукціонная катушка замѣнена здѣсь динамомашиною; кромѣ того у Герца емкость и самоиндукція очень малы и колебанія въ высшей степени часты (сотни милліоновъ разъ въ секунду), тогда какъ здѣсь колебанія считаются лишь сотнями разъ въ секунду.

называемая „химическая гармоника". Вотъ, я зажигаю обыкновенную газовую горѣлку и надѣваю на нее стеклянную трубку; вы слышите громкій звукъ, объясненіе которому можно дать вполнѣ аналогичное, какъ и въ случаѣ вольтовой дуги; только здѣсь мы непосредственно получаемъ воздушныя колебанія, тогда какъ въ вольтовой дугѣ причиною воздушныхъ колебаній являются колебанія электрическія; но и здѣсь, въ химической гармоникѣ, всякая неравномѣрность въ горѣніи газа влечетъ за собою мѣстное сжатіе воздуха, которое распространяется волною до конца трубы, отражается отъ него, возвращается обратно и т. д. и даетъ начало звукамъ, высота которыхъ зависитъ отъ длины стеклянной трубы и отъ скорости распространенія звуковыхъ волнъ въ трубахъ. Если скорость звука 300 метровъ въ секунду, а длина трубы 1/2 метра, то мы услышимъ звукъ mi-бемоль; если труба длиннѣе, звукъ будетъ ниже; съ укороченіемъ трубы звукъ будетъ повышаться (опытъ).

Про вольтову дугу мы можемъ сказать, что при ея помощи постоянный токъ превращается въ перемѣнный, при чемъ число колебаній этого тока зависитъ отъ выбранной нами комбинаціи емкости и самоиндукціи. Про химическую гармонику можно тоже сказать, что мы—при помощи газоваго пламени—превращаемъ постоянный токъ горячихъ газовъ вверхъ по стеклянной трубкѣ въ волнообразное движеніе, при чемъ быстрота перемѣнъ зависитъ отъ длины выбранной нами трубки. Другими словами: комбинація проводовъ съ одной стороны, и стеклянная трубка съ другой служатъ резонаторами, и изъ всѣхъ неправильныхъ колебаній вольтовой дуги или газоваго пламени усиливаются лишь тѣ, которыя соотвѣтствуютъ даннымъ резонаторамъ.

Я приведу еще одинъ, хорошо знакомый вамъ примѣръ. Когда играютъ на скрипкѣ и ведутъ смычкомъ въ одну какую-либо сторону, то струна издаетъ звукъ, т. е. колеблется и въ ту и въ другую сторону; высота звука и здѣсь зависитъ отъ длины струны и отъ скорости распространенія по ней колебаній; струна тоже служитъ резонаторомъ и здѣсь также поступательное движеніе смычка превращается въ колебательное—струны.

Теперь опытъ Дудделля намъ совершенно понятенъ; это тоже своего рода скрипка, гдѣ смычкомъ служитъ вольтова дуга, а струною—система проводниковъ съ емкостью и съ самоиндукціею.

Посмотримъ теперь, какъ можно играть на такой скрипкѣ. Я зажигаю вольтову дугу, и вы слышите звукъ, по тембру похожій на звукъ гобоя; я уменьшаю емкость конденсатора, вынимая штепсель, и тотчасъ же звукъ повышается на квинту; вынимая другіе штепселя, я получаю другіе звуки и другіе интервалы, такъ что можно было бы вмѣсто штепселей устроить клавиши и играть на конденсаторѣ, какъ на роялѣ.

Оставимъ теперь емкость безъ измѣненій и будемъ мѣнять самоиндукцію. Здѣсь у меня 4 катушки, намотанныя попарно на два картонныхъ цилиндра. Выключивъ одну изъ катушекъ, я получаю звукъ тономъ выше; теперь я быстро включаю и выключаю эту катушку, и вы слышите трель; дѣлая тоже самое съ другими катушками, я могу получить тремоло на терціи и на квинтѣ. И здѣсь можно устроить клавиши и играть, какъ на роялѣ.

Но есть еще третій способъ мѣнять звуки вольтовой дуги. Я вставляю одну катушку въ другую; тогда магнитное поле ихъ взаимно усиливается, самоиндукція увеличивается, и звукъ понижается тѣмъ болѣе, чѣмъ глубже помѣщена одна катушка въ другой. Вставивъ опять первую катушку во вторую, только съ другого конца такъ, чтобы магнитное поле одной катушки отчасти парализовало поле другой, я достигаю сильнаго повышенія звука, потому что въ этомъ случаѣ самоиндукція уменьшается. Такимъ образомъ, вдвигая одну катушку въ другую на бóльшую или меньшую глубину, я могу играть на нихъ, какъ на гармоніи [1]).

Во всѣхъ этихъ опытахъ съ звучащею вольтовой дугою мы имѣли дѣло съ постояннымъ токомъ, часть котораго превращалась резонирующею системою въ перемѣнный токъ. Чтобы доказать вамъ, что по катушкамъ дѣйствительно проходитъ перемѣнный токъ, я покажу нѣсколько опытовъ, которые обыкновенно дѣлаются съ перемѣнными токами.

Вставимъ въ нашу катушку другую, соединенную съ телефономъ; тогда въ этой послѣдней возникнутъ наведенные токи,

---

[1]) Высота звука, какъ показываетъ болѣе точная теорія, зависитъ и отъ сопротивленія и отъ другихъ потерь энергіи въ резонаторѣ. Съ увеличеніемъ сопротивленія, напримѣръ съ удлиненіемъ вольтовой дуги звуки понижаются. Введеніе въ катушку желѣза понижаетъ звукъ и отъ увеличенія самоиндукціи и отъ потери на гистерезисъ. Введеніе въ выше описанныя катушки желѣзной проволоки толщиною въ 3 mm. достаточно, чтобы сперва понизить, а затѣмъ и прекратить звукъ: колебанія дѣлаются апериодическими.

которые приведутъ телефонъ въ звучаніе, и притомъ такое сильное, что онъ перекрикиваетъ даже вольтову дугу (опытъ). Теперь я вмѣсто прежней катушки включаю другую, составленную только изъ 20 оборотовъ толстой проволоки и надѣтую на пучекъ тонкихъ желѣзныхъ прутиковъ; на тотъ же пучекъ я надѣваю небольшую катушку тонкой проволоки съ большимъ числомъ оборотовъ; образуется такимъ образомъ миніатюрный трансформаторъ, въ которомъ по первой катушкѣ проходятъ сильные перемѣнные токи слабаго напряженія, тогда какъ во второй возникаютъ болѣе слабые наведенные, но зато болѣе высокаго напряженія. Я подобралъ эти катушки такъ, чтобы вторичною катушкою можно было питать обыкновенную калильную лампочку въ 16 свѣчей и 110 вольтъ; при надѣваніи второй катушки на первую, лампочка засвѣчивается (опытъ).

Съ этимъ же приборомъ можно сдѣлать опытъ Томсона. Если, вмѣсто вторичной катушки съ лампочкою, надѣть широкое кольцо изъ мѣди или алюминія, то въ немъ возникнутъ тоже перемѣнные токи; по закону Ленца эти токи будутъ всегда противоположнаго направленія, чѣмъ индуцирующіе, и потому мѣдное кольцо будетъ первичною катушкою отталкиваться кверху и взлетитъ на воздухъ (опытъ).

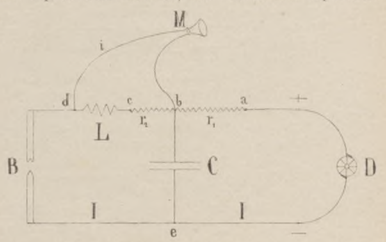
Все это доказываетъ, что мы имѣемъ здѣсь дѣло съ перемѣннымъ токомъ. Что касается до числа перемѣнъ, то описаннымъ способомъ мы можемъ достигнуть токовъ очень большой повторяемости. Если выключить всѣ катушки и оставить одинъ конденсаторъ, то получимъ очень высокій звукъ, который можно еще повысить, уменьшая емкость конденсатора, и такимъ путемъ дойти до предѣловъ нашихъ слуховыхъ ощущеній (опытъ).

Во всѣхъ этихъ опытахъ сила получаемаго перемѣннаго тока довольно большая, въ нѣсколько амперъ; однако для того, чтобы получить звуки, достаточно и очень слабыхъ токовъ; даже тѣ перемѣнные токи, которые получаются въ обыкновенной телефонной линіи съ микрофономъ, уже даютъ ясно различаемые звуки въ вольтовой дугѣ. На эту чувствительность вольтовой дуги еще раньше Дудделя указалъ Симонъ во Франкфуртѣ на Майнѣ.

Свое открытіе Симонъ сдѣлалъ тоже совершенно случайно. Работая однажды съ румкорфовымъ индукторомъ и вольтовой дугою и желая избавиться отъ надоѣдливаго трещанья прерывателя, онъ перенесъ индукторъ въ другую комнату. Каково же было его удивленіе, когда, возвратясь снова въ свою комнату,

онъ опять услыхалъ прежнее трещанье, только исходящее изъ вольтовой дуги. Изслѣдуя причины этого явленія, онъ нашелъ, что проволоки, идущія къ индуктору и къ вольтовой дугѣ, расположены были на нѣкоторомъ протяженіи очень близко другъ къ другу, и прерывистый токъ индуктора наведеніемъ передавался проволокамъ вольтовой дуги и производилъ въ этой послѣдней соотвѣтствующіе звуки. Тогда Симонъ попробовалъ этотъ случайный опытъ повторить уже нарочно, но вмѣсто прерывателя поставилъ микрофонъ, въ который говорилъ его помощникъ. Опытъ оказался удачнымъ, и дуга совершенно отчетливо повторяла всѣ звуки и слова, которыя говорились въ микрофонъ. Для того, чтобы рѣчь воспроизводилась вольтовою дугою, какъ можно сильнѣе, Симономъ и Румеромъ были придуманы различныя комбинаціи при соединеніи вольтовой дуги съ микрофономъ; мы здѣсь воспользуемся самою простою.

Постоянный электрическій токъ J динамомашины D (фиг. 10) питаетъ чрезъ сопротивленіе $r_1 + r_2$ вольтову дугу B; часть этого тока i отвѣтвлена отъ сопротивленія r_2 къ микрофону M. Если говорить въ микрофонъ M, то сопротивленіе его угольнаго порошка періодически мѣняется; токъ i становится перемѣннымъ;



фиг. 10 (Опытъ Симона)

этотъ перемѣнный токъ i налагается затѣмъ на постоянный токъ J, и дуга B начинаетъ воспроизводить всѣ звуки и даже слова, говоримыя въ микрофонъ M. Однако при такой схемѣ главная часть перемѣннаго тока i шла бы по кратчайшему пути

bd и не попадала въ дугу, вслѣдствіе чего рѣчь передавалась бы очень слабо; чтобы воспрепятствовать этому, я ставлю катушку съ желѣзомъ L, т. е. самоиндукцію. Чрезъ самоиндукцію перемѣнный токъ проходитъ съ трудомъ, тогда какъ на постоянный токъ самоиндукція вліять не можетъ. Но и этого мало; чтобы пройти чрезъ дугу B, токъ i долженъ пройти и чрезъ динамомашину по пути $MdBeDabM$; этотъ путь слишкомъ длиненъ; я могу укоротить его, поставивъ конденсаторъ C; чрезъ конденсаторъ постоянный токъ пройти не можетъ, потому что обѣ обкладки его изолированы другъ отъ друга, но перемѣнный токъ чрезъ него проходитъ. Чтобы убѣдиться въ томъ, что это дѣйствительно такъ, предположимъ, что положительное электричество течетъ отъ b къ C и заряжаетъ верхнюю обкладку конденсатора; одновременно съ этимъ потечетъ отрицательное электричество отъ e къ C, такъ какъ нижняя обкладка конденсатора должна чрезъ вліяніе зарядиться отрицательнымъ электричествомъ; когда въ части bC токъ потечетъ въ другую сторону, то нижняя обкладка должна будетъ перезарядиться, т. е. въ eC электрическій токъ тоже перемѣнитъ свое направленіе; другими словами перемѣнный токъ въ bC повлечетъ за собою перемѣнный же токъ въ Ce, и я могу сказать, что перемѣнный токъ какъ бы проходитъ сквозь конденсаторъ. Итакъ, въ нашей схемѣ постоянный токъ J, питающій вольтову дугу, пойдетъ по пути $DabcdBeD$, тогда какъ перемѣнный пойдетъ главнымъ образомъ по $MdBeCbM$. По этой схемѣ у меня и приготовленъ опытъ, который я намѣренъ показать вамъ [1]). Микрофонъ установленъ въ одной изъ отдаленныхъ комнатъ, откуда звуки непосредственно сюда достигать не могутъ; теперь я удалюсь къ микрофону, а здѣсь предоставлю слово самой вольтовой дугѣ.

Вольтова дуга: „Слушайте! Я, вольтова дуга, разскажу вамъ свою исторію. Я родилась 100 лѣтъ тому назадъ въ лабораторіи профессора Петрова, 25 лѣтъ тому назадъ Яблочковъ примѣнилъ меня къ освѣщенію, 10 лѣтъ тому назадъ Муассанъ при

[1]) Вотъ подробности установки: токъ $J = 50$ amp., $i = 1$ amp., $C = 20$ mfar., J—обыкновенная дроссель; длина дуги 5 cm.; верхній положительный уголь имѣетъ стеклянный фитиль, чтобы дуга получалась длиннѣе. Полезно около r_1 помѣстить самоиндукцію, чтобы звуки щетокъ динамомашины, не воспроизводились дугою.

моей помощи получилъ искуственный алмазъ, но только теперь, благодаря Симону во Франкфуртѣ, я въ первый разъ заговорила. Такъ медленно шло мое развитіе!"

Еще лучше, чѣмъ человѣческая рѣчь, передается пѣніе и звуки музыкальныхъ инструментовъ (опытъ съ пѣніемъ, съ корнетъ-а-пистономъ и съ флейтою); всѣ оттѣнки и тембръ голоса и инструментовъ передаются очень хорошо.

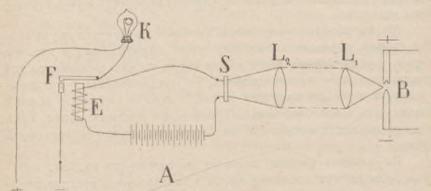
Какъ только появилось первое извѣстіе о говорящей вольтовой дугѣ, сейчасъ же люди съ легко воспламеняющимся воображеніемъ стали пророчить ей блестящую будущность. Говорили, что отнынѣ профессора не будутъ больше ходить на лекціи, а будутъ сидѣть у себя въ кабинетѣ и читать лекціи въ микрофонъ; въ аудиторіяхъ же будутъ вездѣ повѣшены говорящія вольтовы дуги и такимъ образомъ можно будетъ читать лекціи одновременно въ нѣсколькихъ аудиторіяхъ. Говорили, что на улицахъ и бульварахъ электрическіе фонари будутъ выкрикивать газетныя новости, объявленія и рекламы или услаждать гуляющихъ вечерними концертами и т. д. и т. д. Съ другой стороны нашлись люди, которые скептически отнеслись къ говорящей дугѣ, они называли ее игрушкою, которая не можетъ имѣть серьезнаго значенія.

Ни то, ни другое отношеніе не можетъ считаться научнымъ. Мы должны радоваться каждому вновь народившемуся дѣтищу науки, и если первые шаги жизни этого дѣтища забавны, то это должно вызывать не скептицизмъ, не предположеніе о легкомысленности всей его будущей жизни, а скорѣе любовь и желаніе развить его способности и направить на полезное дѣло. Такъ именно думали и поступали изобрѣтатели звучащей вольтовой дуги.

Въ опытахъ Симона, которые вы только-что видѣли, вольтова дуга служитъ телефономъ, т. е. аппаратомъ, воспроизводящимъ звуки; не можетъ-ли она служить и микрофономъ? Симонъ показалъ, что и это возможно, такъ что стоитъ только повѣсить въ двухъ комнатахъ дуговыя лампы, соединенныя въ общую цѣпь, и говорить въ одну изъ нихъ, чтобы другая воспроизводила эту рѣчь. Но до сихъ поръ не удалось достигнуть въ этомъ отношеніи никакихъ практическихъ результатовъ; дѣйствія эти оказались слишкомъ слабыми. Не останавливаясь на другихъ болѣе или менѣе интересныхъ опытахъ Симона, я скажу только еще объ изобрѣтенномъ имъ безпроволочномъ телефонѣ.

Симонъ разсуждалъ такъ. Если слабые перемѣнные токи микрофона настолько сильно вліяютъ на объемъ раскаленныхъ паровъ вольтовой дуги, то причиною этому можетъ быть только быстрое измѣненіе ея температуры, а такъ какъ въ связи съ температурою находится и сила испускаемаго ею свѣта, то въ говорящей вольтовой дугѣ сила свѣта должна также быстро измѣняться. Нельзя-ли этотъ быстро измѣнчивый свѣтъ опять превратить въ звуки? Тогда имѣлась бы надежда переговариваться на разстояніи безъ проволокъ, при помощи лучей свѣта.

Для того, чтобы рѣшить эту задачу, Симонъ воспользовался свойствами селена. Селенъ—это химическій элементъ, который сплавляется въ стекловидную массу и обладаетъ замѣчательнымъ свойствомъ измѣнять свое электрическое сопротивленіе подъ дѣйствіемъ свѣта. Вотъ въ этой коробочкѣ у меня имѣется небольшая селеновая пластинка, которая включена въ цѣпь нѣсколькихъ аккумуляторовъ. Пока селенъ находится въ темнотѣ, токъ въ этой цѣпи чрезвычайно слабый, потому что селенъ плохо проводитъ электричество; но стоитъ только, открывъ коробочку, освѣтить селенъ, и мгновенно сопротивленіе его дѣ-



Фиг. 11 (Телефонъ безъ проволокъ)

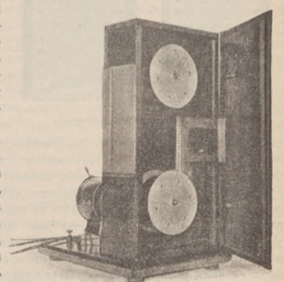
лается втрое меньше, а токъ въ цѣпи втрое сильнѣе. Чтобы сдѣлать эти измѣненія тока видимыми, я помѣщаю, по примѣру Симона, въ одну цѣпь съ селеномъ S (фиг. 11) небольшой электромагнитъ (реле) E, который при усиленіи тока притягиваетъ якорь F, включающій калильную лампочку K въ городскую электрическую сѣть. Какъ только я освѣщаю селенъ лучами вольтовой дуги, сопротивленіе его падаетъ, токъ усиливается и при

посредствѣ реле зажигаетъ лампочку. Прекращеніе освѣщенія селена влечетъ за собою мгновенное затуханіе лампочки *K*.

Поставимъ теперь телефонъ вмѣсто реле *E*; тогда при каждомъ освѣщеніи селена мы услышимъ въ телефонѣ стукъ; всякое колебаніе силы свѣта вызоветъ колебанія въ сопротивленіи селена, т. е. колебанія въ силѣ проходящаго по селену тока, а эти въ свою очередь дадутъ колебанія телефонной пластинки. Освѣтимъ селенъ звучащею или говорящею вольтовою дугою, и мы услышимъ въ телефонѣ тѣ же звуки и тѣ же слова.

Послѣ этого уже нетрудно устроить телефонъ безъ проволокъ. Для этого нужно на одной станціи установить микрофонъ, соединенный съ говорящею вольтовой дугою *B*; свѣтъ этой вольтовой дуги можно сконцентрировать зеркалами или линзами *L* и передать на болѣе или менѣе значительное разстояніе на вторую пріемную станцію. Здѣсь свѣтъ падаетъ на пластинку изъ селена *S*, включенную въ цѣпь гальванической батареи съ телефономъ. Все, что говорится въ микрофонъ первой станціи, слышно въ телефонъ второй станціи, хотя между ними нѣтъ проволочнаго сообщенія; въ данномъ случаѣ вмѣсто проволоки передатчикомъ человѣческой рѣчи служитъ лучъ свѣта.

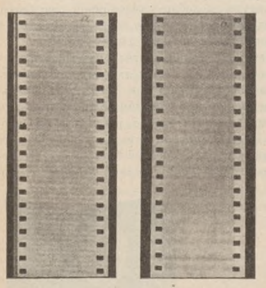
Конечно телефонъ безъ проволокъ будетъ имѣть большое значеніе какъ въ военное, такъ и въ мирное время, въ особенности на морѣ и около портовъ, гдѣ, кстати сказать, всегда есть вольтовы дуги въ маякахъ и прожекторахъ.



Фиг. 12 (Фотографофонъ Румера)

По на этомъ изобрѣтатели не остановились. Румеръ въ Берлинѣ пошелъ еще дальше. Пользуясь говорящею вольтовой дугою, онъ устроилъ фотографическій фонографъ (фиг. 12). Его приборъ очень похожъ на кинематографъ. Въ закрытомъ ящикѣ

продѣлана щель, освѣщаемая снаружи говорящею вольтовой дугою. Внутри ящика передъ щелью быстро проходитъ фотографическая пленка, намотанная на барабаны, приводимые въ движеніе электродвигателемъ. Послѣ проявленія этой пленки, на ней получаются поперечныя свѣтлыя и темныя полосы (фиг. 13), потому что во время ея движенія свѣтъ говорящей дуги быстро мѣняетъ свою силу. Смотря на эти полосы, нельзя конечно угадать, что̀ было говорено дугою, но во всякомъ случаѣ мы можемъ сказать, что, если вращеніе барабановъ было равномѣрное, то болѣе частыя полосы соотвѣтствуютъ и болѣе частымъ измѣненіямъ свѣта, т. е. болѣе высокимъ звукамъ, и наоборотъ.


Фиг. 13 (Пленки фотографофона)

Приготовивъ такимъ образомъ пленку, сдѣлаемъ съ нея позитивъ и пустимъ ее также быстро, какъ и при сниманіи, передъ селеновою пластинкою, соединенною съ телефономъ и освѣщенною постояннымъ источникомъ свѣта. Тогда постоянный свѣтъ, пройдя чрезъ пленку, гдѣ отпечатанъ рядъ свѣтлыхъ и темныхъ полосъ, будетъ производить перемѣнное освѣщеніе селена, и мы услышимъ въ телефонѣ всѣ звуки и слова, которые раньше были отпечатаны на пленкѣ свѣтомъ говорящей дуги. Записанную такимъ образомъ рѣчь можно воспроизводить, конечно, сколько угодно разъ, какъ въ фонографѣ. Румеръ назвалъ свой приборъ фотографическимъ фонографомъ или, короче, фотографофономъ.

Заканчивая свой бѣглый и далеко не полный очеркъ тѣхъ разнообразныхъ примѣненій, которыя допускаетъ въ настоящее время вольтова дуга, я позволю себѣ обратить ваше вниманіе на слѣдующее. Мы такъ избалованы теперь различнаго рода новѣйшими изобрѣтеніями, что часто не оцѣниваемъ даже трудовъ

самихъ изобрѣтателей; такъ просты и естественны кажутся намъ эти изобрѣтенія, послѣ того, какъ они стали нашимъ достояніемъ. Но представьте себѣ человѣка, который сразу, безъ подготовки увидѣлъ бы достигнутые нами теперь результаты. Какое впечатлѣніе произвело бы это на него? Что сказалъ бы напримѣръ профессоръ Петровъ съ его „наипаче огромною" батареею, если бы онъ увидѣлъ сегодня открытую имъ сто лѣтъ тому назадъ вольтову дугу и услыхалъ, какъ она произноситъ его собственное имя? Мнѣ кажется, что все это показалось бы ему волшебною сказкою, а не дѣйствительностью. И мы сами должны будемъ съ нимъ согласиться, что наша теперешняя дѣйствительность имѣетъ такъ много сходства со старою сказкою, что иногда, увидавъ какое-либо новое изобрѣтеніе, подумаешь, ужъ не волшебство-ли это изъ какой-нибудь сказки, а читая сказку, невольно спросишь себя: да не про наше ли время тутъ говорится. Чтобы моя мысль выступила еще рельефнѣе, представьте себѣ, что вы идете мимо дѣтской, гдѣ няня разсказываетъ дѣтямъ сказки; конечно рѣчь идетъ, какъ и всегда, о царевичахъ и царевнахъ, и вы слышите приблизительно слѣдующее:

„А и былъ у того царевича наичудеснѣйшій талисманъ, который согрѣвалъ его, когда ему было холодно, освѣщалъ ему путь-дороженку въ темну ноченьку. Стоитъ лишь захотѣть царевичу, и талисманъ достаетъ ему золото, серебро и алмазы драгоцѣнные. Грустно-ли царевичу, талисманъ поетъ ему пѣсенки; заболѣетъ-ли злымъ недугомъ, онъ сейчасъ къ талисману притронется; заблеститъ талисманъ, засіяетъ синими лучами, и всѣ недуги какъ рукой сняло. — Вотъ разъ ѣдетъ царевичъ по морю, а море бурное разыгралося, завертѣло корабликъ царевича и сбило его съ пути; только видитъ онъ яркій свѣтъ издали лучи свои къ нему протягиваетъ; онъ сейчасъ же узналъ его: это свѣтитъ талисманъ царевны прекрасной, его нарѣченной; ужъ этотъ свѣтъ онъ всегда узнаетъ и за десять верстъ, и за сто верстъ, и за тысячу.... Тогда выноситъ царевичъ талисманъ свой на палубу и говоритъ ему: „передай отъ меня царевнѣ прекрасной, что я скоро буду къ ней и освобожу ее изъ терема злого волшебника Черномора". Тотчасъ заигралъ талисманъ царевича своими лучами, а царевнинъ талисманъ тѣ лучи перехватываетъ и царевнѣ обо всемъ докладываетъ: слово въ слово, человѣчьимъ голосомъ.... А слуги черноморовы, что сторожатъ ца-

ревну, ничего не слышатъ и не понимаютъ, только видятъ на небѣ двѣ звѣздочки ярко, ярко разгораются"....

Не слышится-ли вамъ въ этой сказкѣ наша лекція о вольтовой дугѣ?....

Современное состояніе ученія объ электролизѣ[1])

А. П. Соколова

Получивъ отъ распорядителей секцій физики и химіи настоящаго Съѣзда лестное для меня приглашеніе представить обзоръ по одному изъ вопросовъ физической химіи, я послѣ краткаго размышленія остановился на явленіяхъ электролиза. Мнѣ нѣтъ, я полагаю, надобности долго выяснять причины такого выбора. Среди различныхъ отдѣловъ физико-химіи электрохимія безспорно занимаетъ въ данный моментъ выдающееся положеніе; ей посвящается наибольшая часть работъ, печатаемыхъ въ Оствальдовскомъ Zeitschrift für Physikalische Chemie, ради ея интересовъ основано въ Германіи цѣлое Электрохимическое Общество, издающее спеціальный журналъ, наконецъ въ нововозникшихъ на Западѣ Физико-Химическихъ Институтахъ разработкѣ ея вопросовъ, также какъ и преподаванію отведено главное мѣсто. Такое первенствующее положеніе электрохимiи станетъ понятнымъ, если мы примемъ во вниманіе, что—благодаря капитальнымъ открытіямъ Гельмгольца, Фантъ-Гоффа и Арреніуса—въ умахъ многихъ химиковъ возникло и окрѣпло сознаніе, что эта наука кроетъ въ себѣ ключъ къ уразумѣнію тѣхъ основныхъ вопросовъ теоретической химіи, которые издавна глубоко интересуютъ ученый міръ, но до сихъ поръ не поддавались рѣшенію. Безсмертный Гельмгольцъ, установившій ученіе о

[1]) Рѣчь, произнесенная 27 декабря 1901 г. въ соединенномъ торжественномъ годичномъ засѣданіи Русскаго Физико-Химическаго Общества съ секціями физики и химіи XI Съѣзда русскихъ естествоиспытателей и врачей.

свободной энергіи, показалъ намъ, что въ ея измѣненіяхъ кроются условія равновѣсія всѣхъ физическихъ и химическихъ системъ, какъ бы сложны онѣ ни были, и что мѣрою химическаго сродства тѣлъ служатъ ихъ относительные электрическіе потенціалы. Остроумный Арреніусъ, выдвинувшій на первый планъ электролитическую диссоціацію растворенныхъ тѣлъ, усмотрѣлъ и обнаружилъ связь этой диссоціаціи съ напряженіемъ и скоростями химическихъ реакцій, а геніальный Фантъ-Гоффъ своимъ широкимъ обобщеніемъ далъ намъ возможность разсматривать растворы, какъ газы, и прилагать къ нимъ простые законы, управляющіе послѣдними. Послѣ этихъ открытій сдѣлалось яснымъ, что пониманіе и количественное вычисленіе химическихъ процессовъ возможно лишь при условіи глубокаго изученія электрической ихъ стороны. Вотъ это-то сознаніе тѣсной связи электрическихъ и химическихъ явленій и выдвигаетъ на первый планъ электрохимію и направляетъ къ ней тѣхъ химиковъ, которые ставятъ своею задачею изысканіе прочныхъ теоретическихъ основъ для ихъ науки.

Руководясь такого рода соображеніями, я полагалъ, что обзоръ современнаго состоянія ученія объ электролизѣ долженъ представлять одинаковый интересъ какъ для физиковъ, такъ и для химиковъ, и въ моемъ выборѣ я остановился на немъ. Однако область электролиза, понимаемая въ обширномъ смыслѣ, обнимаетъ собою всю электрохимію, и не можетъ быть исчерпана вся въ настоящемъ даже самомъ бѣгломъ обзорѣ. Поэтому я ограничилъ свою задачу чисто электролитическими явленіями, т. е. явленіями, имѣющими мѣсто въ однородномъ электролитѣ, когда чрезъ него проходитъ постоянный электрическій токъ. Изъ разсмотрѣнія исключаются слѣдовательно явленія, связанныя съ существованіемъ самостоятельныхъ электродвижущихъ силъ на границѣ электролитовъ или электролита и металлическихъ электродовъ, а также силъ, возникающихъ на этихъ границахъ вслѣдствіе прохожденія тока и обусловливающихъ явленія поляризаціи.

Передъ высоко чтимымъ собраніемъ членовъ Русскаго Физико-Химическаго Общества, а также и другихъ членовъ нашихъ обѣихъ секцій мнѣ нѣтъ, конечно, надобности останавливаться на изложеніи основныхъ фактовъ и законовъ электролиза. Предметъ моего обзора составитъ скорѣе детальное критическое разсмотрѣніе основъ этого ученія, выражаемыхъ законами Фа-

радея, Гитторфа, Кольрауша и пр., а также и тѣхъ теорій, которыя были предложены различными учеными для объясненія явленій этой области.

Электролитами мы называемъ химически-сложныя тѣла и ихъ растворы, которые—при прохожденіи чрезъ нихъ электрическаго тока—разлагаются на свои составныя части или іоны. Разложеніе электролита токомъ наблюдается исключительно на поверхности электродовъ вольтаметра, остальная же масса его не испытываетъ при этомъ никакого измѣненія своего состава. Продукты электролиза или іоны, выдѣляющіеся на отрицательномъ электродѣ, мы называемъ катіонами, а выдѣляющіеся на положительномъ электродѣ—аніонами. Такъ какъ прохожденіе тока чрезъ электролитъ неразрывно связано съ его разложеніемъ, то мы должны заключить, что передвиженіе электричества внутри электролита совершается при помощи его іоновъ. Мы представляемъ себѣ катіоны заряженными положительнымъ электричествомъ, аніоны—отрицательнымъ. Подъ дѣйствіемъ внѣшней электродвижущей силы эти іоны приходятъ въ движенія противоположныхъ направленій, такъ что катіоны движутся по линіямъ положительнаго тока, направляясь къ катоду, а аніоны—въ обратную сторону, направляясь къ аноду. Сумма изъ количествъ того и другого электричества, переносимыхъ обоими іонами въ единицу времени чрезъ какое-либо сѣченіе электролита, есть сила тока въ немъ. Достигнувъ электродовъ, іоны отдаютъ имъ свои заряды, сами переходя въ электрически нейтральное и химически свободное состояніе. Однако, лишь въ рѣдкихъ случаяхъ мы наблюдаемъ на электродахъ выдѣленіе первичныхъ іоновъ; по большей части эти послѣдніе, сдѣлавшись свободными, реагируютъ съ электродами или съ составными частями электролита и даютъ мѣсто весьма сложнымъ вторичнымъ процессамъ и вторичнымъ продуктамъ электролиза.

Вотъ въ общихъ чертахъ основные факты электролиза. Остановимся теперь на его основныхъ законахъ.

Въ явленіяхъ электролиза мы имѣемъ передъ собою два различныхъ процесса, протекающихъ одновременно въ неразрывной связи: процессъ физическій—прохожденіе электрическаго тока чрезъ электролитъ, и процессъ химическій — его разложеніе на составныя части. Первый вопросъ, возникающій при изученіи этихъ явленій, есть слѣдующій: въ какомъ количественномъ отношеніи стоятъ между собою эти оба процесса и дѣйствитель-

по-ли они неизмѣнно сопутствуютъ одинъ другому, такъ что передвиженіе даже самыхъ ничтожныхъ количествъ электричества въ электролитѣ должно всегда сопровождаться соотвѣтствующимъ разложеніемъ его? Отвѣтъ на этотъ вопросъ даетъ намъ законъ Фарадея, открытый въ 1834 г. и составляющій основной законъ электролиза.

I. Законъ Фарадея въ наиболѣе краткомъ видѣ формулируется такъ: количества іоновъ, выдѣлившихся на электродахъ во время электролиза, пропорціональны количеству протекшаго чрезъ электролитъ электричества, и находятся между собою въ отношеніи ихъ химическихъ эквивалентовъ. Мнѣ нѣтъ надобности останавливаться здѣсь на разъясненіи этого закона, и потому я прямо перехожу къ разсмотрѣнію того, въ какой мѣрѣ мы можемъ въ настоящее время считать его точнымъ закономъ природы. Что касается второй его части, относящейся къ пропорціональности количествъ выдѣленныхъ іоновъ съ ихъ химическими эквивалентами, то уже самъ Фарадей смотрѣлъ на него, какъ на совершенно точный законъ, и всѣ послѣдующія изслѣдованія, произведенныя болѣе совершенными методами, вполнѣ подтвердили это положеніе. Но относительно первой части дѣло обстоитъ не такъ просто. Исходя изъ того наблюденія, что слабые токи могутъ проходить чрезъ электролитъ безъ замѣтнаго его разложенія, Фарадей допускалъ существованіе въ электролитахъ нѣкоторой металлической электропроводности, и слѣдовательно пропорціональность между количествами протекающаго электричества и выдѣляющихся іоновъ считалъ лишь приблизительною. Однако всѣ послѣдующія измѣренія, гораздо болѣе точныя, свидѣтельствуютъ, что эта пропорціональность соблюдается во всей строгости, по крайней мѣрѣ до такихъ предѣловъ силы тока, при которыхъ еще могутъ быть наблюдаемы и измѣрены продукты электролиза. Въ подтвержденіе можно указать на многочисленныя измѣренія электрохимическихъ эквивалентовъ водорода, серебра, мѣди и пр., произведенныя въ разное время Кольраушемъ, лордомъ Рэлеемъ, Маскаромъ, Греемъ и др. со всею доступною въ настоящее время тщательностью. Согласіе полученныхъ ими результатовъ, несмотря на то, что условія опыта касательно температуры, силы тока, концентраціи раствора, природы соли и пр. мѣнялись въ весьма широкихъ предѣлахъ, это согласіе служитъ лучшею гарантіею высокой строгости закона Фарадея. На основаніи измѣреній

названныхъ ученыхъ мы можемъ считать въ настоящее время электрохимическій эквивалентъ водорода, а слѣдовательно и всякаго другого іона извѣстнымъ съ весьма большою точностью. Для единицы количества электричества въ 1 кулонъ онъ = 1/96540 части граммъ-эквивалента всякаго іона; иначе, одинъ граммъ-эквивалентъ любаго іона несетъ съ собою зарядъ, равный 96540 кулонамъ.

Въ подтвержденіе того, что даже ничтожныя количества электричества не могутъ проходить чрезъ электролитъ, не разлагая его, можно привести между прочимъ опыты Оствальда и Нернста, которымъ удалось обнаружить разложеніе воды въ капиллярѣ электрометра Липмана отъ разряда небольшой лейденской банки; зарядъ ея составлялъ всего 5.10^{6} кулона, и тѣмъ не менѣе движеніе такого минимальнаго заряда чрезъ воду вызвало ея разложеніе, притомъ въ полномъ согласіи съ закономъ Фарадея, на сколько объ этомъ можно было судить по микроскопическимъ размѣрамъ выдѣлившагося на ртути пузырька водорода. Несмотря однако на всѣ эти факты, мы не можемъ еще быть вполнѣ увѣрены въ совершенномъ отсутствіи металлической электропроводности въ электролитахъ. Дѣло въ томъ, что благодаря громаднымъ зарядамъ іоновъ съ одной стороны и необычайной чувствительности современныхъ гальванометровъ съ другой, всегда можно экспериментировать со столь слабыми токами, что никакіе способы изслѣдованія не будутъ въ состояніи обнаружить намъ разложенія электролита, хотя бы даже нашъ опытъ длился цѣлыя столѣтія, и тутъ всегда можетъ возникнуть сомнѣніе въ электролитической природѣ такихъ токовъ. По мнѣнію Гельмгольца, сомнѣніе устраняется фактомъ поляризаціи электродовъ, которая всегда сопутствуетъ электролизу и всегда наблюдается въ вольтаметрѣ, какъ бы ни былъ слабъ идущій чрезъ него токъ. Однако сомнѣніе дѣйствительно устраняется только въ томъ случаѣ, если считать несомнѣнно доказаннымъ, что поляризація обусловливается всегда выдѣленіемъ *свободныхъ газовъ* на электродахъ. Но это положеніе еще само сильно нуждается въ доказательствѣ. Въ самомъ дѣлѣ, если мы станемъ на точку зрѣнія, которой держался самъ Гельмгольцъ до 1883 г., что для разложенія всякаго электролита требуется опредѣленная минимальная электродвижущая сила, то для поляризаціи электродовъ силами, меньшими этой предѣльной, мы должны искать иное объясненіе. Мы можемъ, напримѣръ, представлять себѣ, что

при малыхъ электродвижущихъ силахъ вольтаметръ представляетъ изъ себя два конденсатора громадной емкости съ изолирующими слоями на электродахъ, соединенные между собою жидкостію, которая играетъ здѣсь роль металлическаго проводника. Такая точка зрѣнія проводилась самимъ Гельмгольцемъ въ 70-хъ годахъ прошлаго столѣтія и была въ то время общепринятою среди физиковъ. Въ такомъ случаѣ мы въ правѣ говорить о металлической проводимости электролита, и тогда должны будемъ наложить ограниченіе на законъ Фарадея. Но впослѣдствіи самъ Гельмгольцъ обнаружилъ неправильность своего мнѣнія о существованіи предѣльной электродвижущей силы для разложенія электролита. Исходя изъ созданнаго имъ ученія о свободной энергіи, онъ сдѣлалъ новый выводъ, что разложеніе, по крайней мѣрѣ временное, должно имѣть мѣсто при произвольно малой электродвижущей силѣ. Однако эта новая теорія въ свою очередь сама требуетъ опытнаго доказательства, и еще въ настоящее время не раздѣляется большинствомъ физико-химиковъ школы Оствальда. Безспорное, какъ мнѣ кажется, доказательство временнаго разложенія воды весьма малыми электродвижущими силами было дано мною нѣсколько лѣтъ тому назадъ при помощи вольтаметра особаго устройства. Въ моемъ вольтаметрѣ, кольцеобразной формы, вблизи круглыхъ платиновыхъ электродовъ помѣщались платиновыя острія, разстояніе которыхъ отъ электродовъ мѣнялось отъ 0·5 до 10 mm. Когда чрезъ приборъ, тщательно освобожденный отъ воздуха и другихъ газовъ, пропускался слабый токъ, поляризовавшій кружки электрода, то по прошествіи болѣе или менѣе продолжительнаго времени каждое остріе обнаруживало также свою поляризацію, которая была всегда одного знака съ поляризаціею близъ стоящаго электрода; она замѣчалась сначала на ближайшемъ къ электроду остріѣ, а чрезъ нѣкоторое время и на дальнѣйшемъ; она росла съ теченіемъ времени и достигала въ концѣ концовъ той же величины, что и на электродѣ, если употребленныя для поляризаціи вольтаметра электродвижущія силы не превышали 0·1 volt. Въ своихъ опытахъ я могъ спускаться до 0·001 volt; дальше итти было невозможно въ виду недостаточной чувствительности электрометра, которымъ обнаруживалась поляризація; но нѣтъ никакого основанія думать, чтобы явленіе измѣнило свой характеръ при еще меньшихъ электродвижущихъ силахъ. Поляризація остріевъ очевидно производилась свободными газа-

ми, выдѣлявшимися на электродахъ. Въ самомъ дѣлѣ, чтобы достигнуть остріевъ, эти газы должны диффундировать въ жидкость, слѣдовательно они должны быть свободными, т. е. электролизъ дѣйствительно здѣсь имѣлъ мѣсто. Такимъ образомъ справедливость новой точки зрѣнія Гельмгольца доказана, и мы не имѣемъ болѣе никакой надобности допускать металлическую электропроводность въ жидкостяхъ.

На основаніи всего вышесказаннаго слѣдуетъ признать неограниченную примѣнимость закона Фарадея къ явленіямъ электролиза вполнѣ установленною въ настоящее время. Изъ закона Фарадея вытекаетъ одно весьма важное слѣдствіе, на которое впервые было указано Гельмгольцемъ и значеніе котораго мы уразумѣли лишь въ самое недавнее время. Такъ какъ согласно этому закону эквивалентныя количества іоновъ несутъ съ собою одинаковые заряды, и такъ какъ число атомовъ какого-либо элемента, заключающееся въ одномъ эквивалентѣ его, обратно пропорціонально его валентности, то ясно, что всѣ унивалентные іоны имѣютъ одинаковые электрическіе заряды, бивалентные іоны—двойные такіе же заряды и т. д. Отсюда Гельмгольцъ заключаетъ что существуютъ такіе минимальные электрическіе заряды, которые могутъ соединяться съ атомами обыкновенной матеріи лишь въ краткомъ отношеніи, но никогда не способны подраздѣляться на болѣе мелкія части; иными словами, *само электричество, какъ и вѣсомая матерія, обнаруживаетъ атомистическое строеніе*. Впослѣдствіи этотъ „атомъ электричества" получилъ отъ Стонея названіе *электрона*. Извѣстное явленіе Зеемана также, какъ изслѣдованія новѣйшаго времени надъ электрическими разрядами въ газахъ представили намъ блестящее подтвержденіе этой идеи Гельмгольца. Благодаря работамъ Дж. Дж. Томсона, Ленарда, Кауфмана и др., мы теперь знаемъ, что такъ называемые катодные лучи въ круксовскихъ трубкахъ суть не что иное, какъ исходящіе изъ катода потоки чрезвычайно мелкихъ матеріальныхъ частичекъ, заряженныхъ отрицательнымъ электричествомъ. Масса этихъ частичекъ составляетъ всего 1/1000 долю атома водорода, тѣмъ не менѣе заряды ихъ тождественны съ зарядами унивалентныхъ іоновъ электролиза, т. е. это суть электроны. Въ явленіяхъ электрическихъ разрядовъ подъ дѣйствіемъ лучей Рёнтгена, Беккереля и пр. мы опять имѣемъ дѣло съ движеніемъ матеріальныхъ частичекъ, несущихъ электрическіе заряды, но здѣсь масса ихъ гораздо больше

атомовъ химическихъ элементовъ; однако и здѣсь электрическій зарядъ частички есть тотъ же самый электронъ.

Законъ Ома. Другой общій законъ, регулирующій явленія электрическаго тока въ электролитахъ, есть законъ Ома, который они раздѣляютъ вмѣстѣ съ проводниками перваго класса. Спросимъ себя, на сколько можно считать доказанною полную приложимость этого закона къ электролитамъ. Опытная провѣрка закона Ома при употребленіи постоянныхъ токовъ встрѣчаетъ себѣ большія затрудненія со стороны явленій поляризаціи электродовъ и образованія въ нѣкоторыхъ случаяхъ такъ называемаго переходнаго сопротивленія на ихъ поверхности. Однако эти затрудненія устраняются, если пользоваться неполяризующимися электродами; тогда, какъ показалъ опытъ, законъ Ома соблюдается во всей своей строгости. Для токовъ перемѣнныхъ, особенно, быстро колеблющихся, встрѣчается одно принципіальное затрудненіе. Согласно закону Фарадея, движеніе электричества внутри электролита совершается всегда вмѣстѣ съ іонами, но скорости этихъ послѣднихъ, какъ показывалъ Кольраушъ, чрезвычайно малы; при паденіи потенціала въ volt/cm. скорость движенія самаго быстраго изъ нихъ—іона водорода—едва достигаетъ 0·03 mm./sec., другіе же іоны имѣютъ скорости по крайней мѣрѣ впятеро меньшія; при столь ничтожныхъ скоростяхъ возможно, что быстро перемѣнные токи не будутъ уже сопровождаться расщепленіемъ молекулы на іоны, а только измѣненіемъ ея формы или (если встанемъ на точку зрѣнія теоріи диссоціаціи) только колебаніемъ электрическихъ зарядовъ внутри каждаго свободнаго іона; но въ такомъ случаѣ мы уже не будемъ имѣть дѣло съ электролизомъ жидкости, а съ ея діэлектрическою поляризаціею, какъ мы ее наблюдаемъ въ изоляторахъ. На такую возможность превращенія электролита въ изоляторъ впервые указалъ Максвелль въ 1865 г.; этимъ онъ объяснялъ себѣ, почему большинство электролитовъ, будучи проводниками электричества, остаются прозрачными, тогда какъ всѣ металлы непрозрачны, какъ того и требовала электромагнитная теорія свѣта. Въ виду того важнаго значенія, какое въ настоящее время имѣютъ для насъ перемѣнные токи, вопросъ о примѣнимости къ нимъ закона Ома въ электролитахъ подвергался многократному изученію со стороны Кольрауша и другихъ ученыхъ. Изъ этихъ изслѣдованій выяснилось, что въ тѣхъ случаяхъ, когда имѣемъ дѣло съ колебаніями, не превосходящими

нѣсколькихъ сотенъ въ секунду, никакихъ замѣтныхъ отступленій отъ закона Ома не наблюдается. Будемъ-ли мы опредѣлять сопротивленіе электролита при помощи постояннаго тока или перемѣннаго съ аппаратомъ Кольрауша, въ обоихъ случаяхъ получаются результаты совершенно одинаковые. Далѣе, Конъ оперировалъ съ токами, число колебаній которыхъ могло доходить до 25000 въ сек., и тѣмъ не менѣе не обнаружилъ для нихъ никакого замѣтнаго отступленія отъ закона Ома въ водѣ и въ другихъ электролитахъ. Впослѣдствіи Конъ сдѣлалъ теоретическое изслѣдованіе того же вопроса, съ цѣлію выяснить предѣлъ примѣнимости закона Ома; онъ показалъ, что при допущеніи справедливости закона Фарадея отступленія отъ закона Ома не могутъ быть обнаружены даже для герцевскихъ колебаній числомъ отъ 100 до 1000 милліоновъ въ секунду, но для колебаній порядка свѣтовыхъ волнъ законъ Ома уже совсѣмъ теряетъ свою силу. Этотъ выводъ находитъ себѣ подтвержденіе въ опытахъ Дж. Дж. Томсона, который нашелъ, что для герцевскихъ волнъ, вода и металлическій проводникъ равнаго сопротивленія ничѣмъ не отличаются другъ отъ друга въ поглощающемъ дѣйствіи на эти волны. То же самое обнаруживаютъ и болѣе точныя опытныя изслѣдованія, произведенныя въ недавнее время Нернстомъ и Эрскиномъ (Erskine) надъ сопротивленіемъ электролитовъ для герцевскихъ колебаній.

Всѣ эти данныя позволяютъ намъ заключить, что во всѣхъ нашихъ опытахъ и законъ Ома не испытываетъ никакого ограниченія въ примѣненіи къ электролитамъ.

Теперь мы обратимся къ выясненію вопросовъ о природѣ электролитическаго процесса, о первичныхъ іонахъ электролиза и о химической природѣ всѣхъ электролитовъ вообще, какъ химическихъ соединеній. Рѣшеніемъ всѣхъ этихъ коренныхъ вопросовъ электролиза мы обязаны почти исключительно Гитторфу, на работахъ котораго и придется главнымъ образомъ остановиться. Принимая во вниманіе, что обыкновенно они трактуются съ недостаточною полнотою, я посвящу имъ въ этомъ обзорѣ больше мѣста, чѣмъ другимъ вопросамъ.

Открытіе разложенія воды электрическимъ токомъ, постоянное появленіе продуктовъ ея разложенія при электролизѣ кислотъ, щелочей и ихъ соединеній съ кислородными кислотами, все это побуждало ученыхъ приписать водѣ преобладающую роль въ явленіяхъ электролиза растворовъ. Скоро въ наукѣ крѣпко

утвердилось мнѣніе, что прежде всего токомъ разлагается вода, что водородъ и кислородъ и суть первичные іоны электролиза. Тамъ, гдѣ выдѣленіе одного или обоихъ изъ этихъ газовъ не наблюдалось, принимали существованіе вторичныхъ процессовъ, обусловленныхъ воздѣйствіемъ ихъ на растворенное тѣло. Такъ при электролизѣ солей тяжелыхъ металловъ появленіе на катодѣ металла объяснялось вытѣсненіемъ его водородовъ изъ соли, а выдѣленіе галоидовъ при электролизѣ галоидныхъ солей приписывалось вытѣсненію ихъ кислородомъ. Но и при самомъ поверхностномъ знакомствѣ съ явленіями взглядъ этотъ не могъ быть проведенъ послѣдовательно во всѣхъ случаяхъ. Напр., Дэви было обнаружено, что электролизъ сѣрнокислаго натрія даетъ въ качествѣ продуктовъ разложенія кромѣ водорода и кислорода еще щелочь на катодѣ и сѣрную кислоту на анодѣ. Здѣсь приходилось допустить, что рядомъ съ водою подвергается разложенію и сама соль; при этомъ—согласно теоріи Берцеліуса о строеніи солей—принимали, что она разлагается на ангидридъ и на основаніе. Впрочемъ такое же допущеніе пришлось сдѣлать и по отношенію къ солямъ тѣхъ тяжелыхъ металловъ (напр. къ солямъ цинка), которые не вытѣсняются водородомъ изъ соединеній, а напротивъ вытѣсняютъ его. Въ результатѣ получались чрезвычайно неясныя и противорѣчивыя представленія о химической сторонѣ электролитическаго процесса, а между тѣмъ достаточно было произвести нѣсколько количественныхъ анализовъ, для того, чтобы характеръ этихъ процессовъ обрисовался съ полною ясностью. Такія изслѣдованія были сдѣланы впервые Даніелемъ въ 40-выхъ годахъ прошлаго столѣтія, которыми и подтвердилась вполнѣ точка зрѣнія Дэви. Однако большинство даже передовыхъ физиковъ и химиковъ, каковы Магнусъ и Бунзенъ, продолжали и послѣ того держаться теоріи Берцеліуса, вліяя своимъ авторитетомъ на мнѣнія другихъ ученыхъ. Вслѣдствіе этого на работы Даніеля не обратили должнаго вниманія, и въ ученіи объ электролизѣ продолжали господствовать самыя смутныя и противорѣчивыя воззрѣнія. Кореннымъ реформаторомъ ихъ является Гитторфъ, который своими классическими изслѣдованіями электролитическихъ процессовъ, произведенными въ 50-хъ годахъ прошлаго столѣтія, далъ окончательное рѣшеніе всѣхъ вышеупомянутыхъ вопросовъ. Это ему удалось при изученіи причинъ, производящихъ измѣненія концентраціи растворовъ у электродовъ во время электролиза. Само явленіе было давно извѣстно, но на не-

го не обращали вниманія и только Даніель догадывался о его причинѣ. Оно особенно рѣзко наблюдается при электролизѣ крѣпкихъ растворовъ мѣднаго купороса между вертикально поставленными мѣдными электродами, при чемъ верхній электродъ служитъ катодомъ; при пропусканіи тока жидкость у катода видимо свѣтлѣетъ и съ теченіемъ времени почти совсѣмъ обезцвѣчивается, тогда какъ у анода растворъ концентрируется до того, что появляются кристаллы мѣднаго купороса. Гитторфъ объяснилъ себѣ это измѣненіе концентраціи у электродовъ не одинаковою скоростію движенія іоновъ въ жидкости во время электролиза. Онъ скоро усмотрѣлъ въ этомъ явленіи ключъ для рѣшенія вопроса о первичныхъ іонахъ и вообще для выясненія всѣхъ электрохимическихъ процессовъ, происходящихъ въ вольтаметрѣ во время прохожденія чрезъ него тока.

Собственно говоря, законъ Фарадея, устанавливая пропорціональность количества протекшаго чрезъ электролитъ электричества съ количествами выдѣляющихся на электродахъ іоновъ, ничего не говоритъ намъ о движеніи іоновъ въ жидкости въ противоположныхъ направленіяхъ и о переносѣ электричества этими іонами; мы свободно могли бы предположить, что токъ распространяется чрезъ жидкость, какъ по металлическому проводнику, и только при входѣ въ электролитъ и при выходѣ изъ него производитъ соотвѣтствующее разложеніе. Въ такомъ предположеніи никакого переноса электричества іонами не было бы, а эти послѣдніе просто выдѣлялись бы на электродахъ изъ прилежащихъ слоевъ жидкости. Но вопросъ рѣшается весьма просто анализами Гитторфа.

Въ своихъ изслѣдованіяхъ Гитторфъ пользовался вольтаметрами, состоящими изъ трехъ отдѣленій, раздѣленныхъ другъ отъ друга пористыми перегородками; въ крайнихъ отдѣленіяхъ помѣщались элетроды, среднее же служило только для контроля того, что въ теченіе опыта жидкости крайнихъ отдѣленій не успѣли смѣшаться между собою. Въ теченіе нѣкотораго времени чрезъ испытуемый растворъ пропускали токъ и затѣмъ составъ жидкости всѣхъ трехъ отдѣленій подвергался химическому анализу. Интересно прослѣдить одинъ изъ этихъ опытовъ и посмотрѣть къ какимъ заключеніямъ онъ приводитъ. Остановимся на электролизѣ одного раствора мѣднаго купороса между платиновыми электродами. Послѣ опыта Гитторфъ констатировалъ слѣдующія измѣненія въ вольтаметрѣ:

1. На катодѣ выдѣлился одинъ эквивалентъ мѣди, а въ аноднομъ отдѣленіи оказалась свободною сѣрная кислота, тоже въ количествѣ одного эквивалента; кромѣ того здѣсь же былъ собранъ одинъ эквивалентъ кислорода.

2. Въ катодномъ и среднемъ отдѣленіяхъ растворъ остался такимъ же нейтральнымъ, какъ и до опыта.

3. Въ среднемъ отдѣленіи концентрація раствора осталась прежняя.

4. Въ катодномъ отдѣленіи растворъ обѣднѣлъ на 0·715 эквивалента соли, тогда какъ въ анодномъ онъ обѣднѣлъ только на 0·285 эквивалента.

Отсюда вытекаютъ слѣдствія:

1. Такъ какъ на катодѣ выдѣлился цѣлый эквивалентъ мѣди, а растворъ вблизи его потерялъ только 0·715 экв., то недостающія 0·285 экв. должны были прійти сюда изъ другихъ отдѣленій и именно изъ аноднаго, ибо среднее не измѣнило своей концентраціи.

2. Такъ какъ растворъ вблизи катода остался нейтральнымъ, то освободившійся здѣсь радикалъ SO_4 въ количествѣ 0·715 экв. долженъ былъ перейти къ аноду.

3. Въ анодномъ отдѣленіи выдѣлился полный эквивалентъ этого радикала, а перешло съ катода только 0·715 экв., слѣдовательно недостающіе 0·285 экв. его должны были выдѣлиться изъ соли въ этомъ отдѣленіи; освободившаяся при этомъ мѣдь тоже въ количествѣ 0·285 экв. должна была перейти на катодъ, составивъ вмѣстѣ съ выдѣлившейся тамъ мѣдью полный эквивалентъ.

Итакъ этотъ простой опытъ ясно свидѣтельствуетъ намъ, что при прохожденіи тока чрезъ растворъ мѣднаго купороса составныя части этого послѣдняго странствуютъ къ электродамъ чрезъ всю жидкость въ противоположныхъ другъ къ другу направленіяхъ. Но въ то время, какъ на каждомъ электродѣ выдѣляется полный эквивалентъ соотвѣтствующаго іона, чрезъ жидкость странствуютъ только части эквивалентовъ обоихъ іоновъ, и сумма обѣихъ частей составляетъ также одинъ эквивалентъ. Такъ мѣдь перешла съ анода на катодъ въ количествѣ 0·285 экв., а радикалъ SO_4 съ катода на анодъ въ количествѣ 0·715 экв. Эти части эквивалента іоновъ, странствующія отъ одного электрода къ другому, Гитторфъ назвалъ числами переноса іоновъ, и опредѣлилъ ихъ для весьма большаго числа электролитовъ. Мы

получимъ самое простое объясненіе странствованію іоновъ, если предположимъ, что скорости движенія ихъ въ жидкости неодинаковы, а находятся между собою въ отношеніи чиселъ переноса, такъ что для сульфіона SO_4 эта скорость въ 2·5 раза больше, чѣмъ для мѣди. Такъ какъ однако эквивалентныя количества іоновъ несутъ съ собою одинаковые заряды, то ясно, что оба іона не въ одинаковой степени участвуютъ въ переносѣ электричества или въ образованіи электрическаго тока. Замѣтимъ, что всякое другое объясненіе электрическаго процесса, кромѣ описаннаго, будетъ стоять въ противорѣчіи съ тѣмъ или инымъ результатомъ наблюденій Гитторфа; напр., допущеніе разложенія воды, какъ первичнаго процесса электролиза, не объяснитъ ни наблюдаемыхъ измѣненій концентраціи раствора въ крайнихъ отдѣленіяхъ, ни нейтральность катоднаго отдѣленія и т. д.

Что касается, наконецъ, вопроса о первичныхъ іонахъ электролиза, то онъ опять-таки рѣшается самъ собою методомъ Гитторфа. Первичные іоны характеризуются тѣмъ, что во время электролиза они странствуютъ въ противоположныхъ направленіяхъ чрезъ всю жидкость изъ одного крайняго отдѣленія въ другое; слѣдовательно послѣ опыта въ катодномъ отдѣленіи долженъ обнаружиться нѣкоторый недочетъ въ аніонѣ, а въ анодномъ—нѣкоторый недочетъ въ катіонѣ, и сумма этихъ недочетовъ должна составлять какъ разъ одинъ эквивалентъ. Поэтому если изслѣдуемъ химическій составъ жидкости обоихъ отдѣленій, то обнаруживавшіе въ нихъ недочеты составныхъ частей электролита и представятъ намъ первичные его іоны; притомъ недочетъ катіона на анодѣ, выраженный въ частяхъ эквивалента, выразитъ собою число его переноса, а также вычисленный недочетъ аніона дастъ число переноса для послѣдняго; отношеніе этихъ чиселъ представитъ отношеніе скоростей странствованія обоихъ іоновъ [1]). Такъ просто рѣшилъ Гитторфъ эту трудную задачу раскрытія истинной природы электролитическаго процесса, и тѣмъ не менѣе современники его не поняли предложеннаго имъ рѣшенія и горячо оспаривали его выводы, которые лишь долгое время спустя получили полное право гражданства въ наукѣ. Своими изслѣдованіями Гитторфъ неопровержимо доказалъ спра-

[1]) На странствованіе іоновъ вторичные процессы на электродахъ, очевидно, не имѣютъ никакого вліянія, а потому, какъ бы сложны эти процессы ни были, рѣшеніе задачи объ отысканіи первичныхъ іоновъ всегда возможно.

ведливость точки зрѣнія Даніеля на первичные іоны типическихъ солей. Такими іонами являются всегда металлы или замѣняющій ихъ водородъ, въ качествѣ катіона, и кислотный радикалъ, простой или сложный, въ качествѣ аніона.

Надо впрочемъ замѣтить, что при электролизѣ водныхъ растворовъ гидратовъ щелочей и многоосновныхъ кислородныхъ кислотъ методъ Гитторфа не вполнѣ рѣшаетъ вопросъ о первичныхъ іонахъ этихъ электролитовъ. Предположимъ-ли мы, что KHO распадается на K и HO, какъ мы теперь принимаемъ, или на KH и O—конечный результатъ будетъ одинъ и тотъ же, какъ по отношенію къ газамъ, выдѣляющимся на электродахъ, такъ и относительно измѣненій концентраціи раствора у электродовъ. Точно также нельзя рѣшить этимъ способомъ вопросъ, распадается-ли H_2SO_4 на H_2 и SO_4, какъ обыкновенно принимаютъ, или имѣетъ мѣсто распаденіе на H и HSO_4. Для рѣшенія этихъ вопросовъ должны быть привлечены другія явленія. Напр., по отношенію къ ѣдкому кали вопросъ былъ рѣшенъ электролизомъ его раствора со ртутью, въ качествѣ катода; тогда калій соединяется со ртутью въ амальгаму и диффундируетъ внутрь ртути, не успѣвъ подѣйствовать на воду; никакого выдѣленія водорода при этомъ не наблюдается, что непремѣнно должно бы имѣть мѣсто, если бы катіономъ служилъ KH.

Методъ Гитторфа является особенно важнымъ при рѣшеніи вопроса о первичныхъ іонахъ такъ называемыхъ двойныхъ солей, въ составъ которыхъ входятъ два различныхъ металла, напр. желѣзисто-синеродистый калій (желтая соль) $K_4Fe(CN)_6$. A priori здѣсь мы совершенно не можемъ сказать, будутъ-ли роль катіона играть оба металла вмѣстѣ, или же только одинъ изъ нихъ, а другой пойдетъ вмѣстѣ съ синеродомъ на анодъ. Производя анализъ раствора у катода и анода, Гитторфъ безъ труда убѣдился, что роль катіона играетъ только калій, желѣзо же вмѣстѣ со всѣмъ синеродомъ образуетъ аніонъ. Такимъ же способомъ онъ доказалъ, что и другія двойныя соли ($KAg(CN)_2$, Na_2PtCl_6, $KAuCl_4$) ведутъ себя, какъ типическія, разлагаясь на щелочный металлъ — катіонъ и всю остальную сложную группу, изображающую аніонъ. Между тѣмъ простое наблюденіе продуктовъ электролиза, выдѣляющихся на катодѣ, должно бы было привести и дѣйствительно приводило ученыхъ къ обратному заключенію, ибо названныя соли суть тѣ самыя, которыми мы пользуемся часто для гальваническаго серебренія, золоченія и платинирова-

нія; при электролизѣ ихъ, катодъ покрывается слоемъ входящаго въ соль благороднаго металла, но появленіе этого послѣдняго обусловливается здѣсь, какъ показалъ Гитторфъ, вторичными процессами. Наконецъ Гитторфъ тѣмъ же методомъ изслѣдованія открылъ чрезвычайно интересный фактъ, что кадмій въ галоидныхъ соединеніяхъ и при большихъ концентраціяхъ раствора способенъ самъ съ собой образовать двойныя соли, какъ онъ ихъ образуетъ въ связи съ другими металлами, напр. съ каліемъ. Такъ CdI_2 при сказанныхъ условіяхъ переходитъ въ двойную молекулу Cd_2I_4 и даже въ тройную Cd_3I_6. При электролизѣ такія молекулы распадаются однако также, какъ и всѣ типическія соли, т. е. на Cd и остатокъ CdI_4 или Cd_2I_6. Въ результатѣ выходитъ, что число переноса для кадмія дѣлается отрицательнымъ, а для іода превосходитъ единицу, но такъ, что сумма обоихъ переносовъ, какъ и всегда, равна единицѣ. Явленіе имѣетъ видъ, какъ будто бы и кадмій и іодъ оба странствуютъ къ аноду. Это открытіе Гитторфа потомъ было провѣрено кріоскопическими наблюденіями, но въ началѣ оно было встрѣчено общимъ недовѣріемъ.

Когда такимъ образомъ природа электролитическаго процесса вполнѣ выяснилась для Гитторфа, и были опредѣлены первичные іоны для большинства извѣстныхъ электролитовъ, то изъ сопоставленія всѣхъ полученныхъ результатовъ ему уже нетрудно было уловить общій химическій характеръ, отличающій электролиты отъ прочихъ химическихъ соединеній. Вотъ его заключенія. 1) Всѣ сложныя тѣла, являющіяся хорошими проводниками электрическаго тока, всегда обмѣниваются между собою своими іонами, разъ они въ жидкомъ состояніи приходятъ во взаимное прикосновеніе. 2) Въ явленіяхъ химіи мы наблюдаемъ обмѣнъ только между разнородными молекулами, явленіе же электролиза представляетъ собою то большое преимущество, что даетъ возможность слѣдить за нимъ на молекулахъ однородныхъ (согласно теоріи Гротгуса). 3) Однако электричество способно вызвать этотъ обмѣнъ только между такими молекулами, которыя его обнаруживаютъ и въ обыкновенныхъ явленіяхъ избирательнаго сродства съ тѣлами одинаковаго съ ними строенія.

Отсюда такой окончательный выводъ. Всѣ электролиты суть соли въ смыслѣ современной химіи. Во время электролиза происходитъ обмѣнъ (по теоріи Гротгуса) между тѣми же самыми составными частями ихъ молекулъ (иначе первичными іонами), какъ

и въ реакціяхъ двойного разложенія. Вотъ самое общее опредѣленіе электролита, какъ химическаго соединенія. Гитторфъ приводитъ многочисленные примѣры изъ химіи, иллюстрирующіе это положеніе.

Теперь мы переходимъ къ изслѣдованіямъ Кольрауша и другихъ ученыхъ, имѣвшихъ цѣлью выяснить законъ зависимости электропроводности раствора отъ его концентраціи. Въ этомъ вопросѣ мы болѣе всего обязаны Кольраушу, установившему своими классическими работами одинъ общій законъ, носящій его имя, именно законъ о независимомъ странствованіи іоновъ въ слабыхъ растворахъ. Будемъ концентрацію раствора оцѣнивать числомъ граммъ-эквивалентовъ электролита, заключающихся въ одномъ литрѣ раствора, и будемъ называть молекулярною или эквивалентною его электропроводностью частное, происходящее отъ дѣленія измѣренной электропроводности на концентрацію.

Тогда изъ изслѣдованій Кольрауша оказывается, что электропроводность раствора всякаго электролита сначала растетъ съ концентраціею, но замедленнымъ темпомъ, такъ что при извѣстной концентраціи достигаетъ максимума и далѣе постепенно уменьшается. Законъ этой зависимости очень сложенъ и для разныхъ электролитовъ весьма разнообразенъ. Но если мы будемъ разсматривать молекулярную электропроводность, то связь ея съ концентраціею окажется болѣе простою. Молекулярная электропроводность для всѣхъ тѣлъ убываетъ съ концентраціею, и слѣдовательно возростаетъ съ разбавленіемъ раствора. Законъ этого измѣненія выражается приблизительно линейною функціею концентраціи. Отсюда слѣдуетъ, что всякій растворъ имѣетъ наибольшую молекулярную электропроводность при безконечномъ его разжиженіи; ее мы назовемъ предѣльною этектропроводностью. Съ разбавленіемъ раствора молекулярная электропродность стремится къ предѣльной, но далеко не одинаково для различныхъ электролитовъ: въ то время, какъ для большинства бинарныхъ соединеній, уже растворы съ концентраціею въ 0·001 и даже 0·01 нормальной почти не обнаруживаютъ дальнѣйшаго ея возростанія съ разжиженіемъ, другіе электролиты при тѣхъ же концентраціяхъ имѣютъ молекулярныя электропроводности, еще далеко отстоящія отъ предѣльныхъ; таковы въ особенности уксусная кислота и всѣ вообще органическія кислоты, а также амміакъ. На этомъ основаніи для такихъ тѣлъ предѣльная элек-

тропроводность не можетъ быть точно найдена изъ непосредственныхъ опытовъ. Впрочемъ есть другой путь для болѣе точнаго ея вычисленія.

Предѣльныя молекулярныя электропроводности для всѣхъ одноосновныхъ неорганическихъ кислотъ, а также и для сѣрной, почти равны между собою и далеко оставляютъ за собою тѣ же величины для всѣхъ остальныхъ электролитовъ; также точно мало разнятся между собою предѣльныя электропроводности гидратовъ щелочей, въ томъ числѣ и барія, хотя онѣ значительно менѣе, чѣмъ для названныхъ кислотъ. Всѣ эти частные законы заключаются въ одномъ общемъ, открытомъ Кольраушемъ еще въ 1879 году, но окончательно обоснованнымъ лишь въ 1885 году, послѣ того, какъ имъ были сдѣланы обширныя измѣренія электропроводностей растворовъ самыхъ крайнихъ разжиженіяхъ, доходившихъ до 0·00001 гр.-экв. на литръ.

Такъ какъ электропроводность въ электролитахъ обусловливается переносомъ электричествъ обоими іонами, которые однако не въ одинаковой мѣрѣ участвуютъ въ этомъ переносѣ, то эта электропроводность должна слагаться изъ двухъ частей, изъ коихъ одна относится къ катіону, а другая къ аніону. Кольраушъ назвалъ обѣ эти части молекулярными электропроводностями іоновъ или ихъ электролитическими подвижностями. Онѣ будутъ также, какъ и сама молекулярная электропроводность, неизвѣстными намъ функціями химической природы электролита, концентраціи раствора и пр. Но если станемъ разсматривать растворы безконечно-малой концентраціи, то для нихъ имѣетъ мѣсто слѣдующій общій законъ, который Кальраушъ назвалъ *закономъ независимаго странствованія іоновъ.* Въ растворахъ, безконечно разжиженныхъ, каждый іонъ имѣетъ свою опредѣленную подвижность, совершенно независящую отъ природы другого іона, съ которымъ онъ связанъ въ электролитѣ. Слѣдовательно при этомъ условіи іонъ водорода будетъ во всѣхъ кислотахъ двигаться со свойственною ему подвижностью, также точно іонъ калія будетъ странствовать съ одинаковою скоростію къ какой бы каліевой соли онъ ни принадлежалъ и т. д. Мы можемъ опредѣлить эти подвижности, если воспользуемся съ одной стороны наблюденіями предѣльной электропроводности, дающей ихъ сумму, и гитторфовыми числами переноса іоновъ, дающими ихъ отношеніе. Знаніе подвижностей отдѣльныхъ іоновъ важно для насъ потому, что разъ онѣ опредѣлены для всѣхъ намъ извѣст-

ныхъ іоновъ, мы уже можемъ изъ нихъ находить предѣльную электропроводность всякаго электролита, не прибѣгая къ опытному ея опредѣленію. Это представляетъ большое пріобрѣтеніе, ибо электролитовъ гораздо больше, чѣмъ іоновъ. Оказывается, что различные іоны обладаютъ весьма различными предѣльными подвижностями при данной температурѣ; наибольшею подвижностью отличается іонъ водорода, которая для него выражается числомъ 318, далѣе слѣдуетъ гидроксилъ съ предѣльною подвижностью около 174; подвижность же всѣхъ остальныхъ іоновъ по крайней мѣрѣ въ пять разъ менѣе, чѣмъ для водороднаго іона. Отсюда дѣлается понятнымъ, почему предѣльныя молекулярныя электропроводности всѣхъ кислотъ почти равны между собою, ибо въ нихъ вліяніе аніона отступаетъ на задній планъ передъ вліяніемъ катіона-водорода. По той же причинѣ и предѣльныя молекулярныя электропроводности гидратовъ щелочей тоже приблизительно одинаковы вслѣдствіе значительной подвижности аніона *HO*.

Законъ независимаго странствованія іоновъ во всей строгости справедливъ только для растворовъ безконечнаго разжиженія, но приблизительно онъ сохраняетъ свою силу и въ растворахъ конечной концентраціи почти вплоть до 0·1 нормальной. По мѣрѣ возростанія концентраціи замѣчаются отступленія отъ него въ двухъ направленіяхъ: во-первыхъ подвижности іоновъ уменьшаются и притомъ въ различной мѣрѣ, во-вторыхъ онѣ дѣлаются различными для одного и того же іона въ зависимости отъ валентности другого іона, съ которымъ онъ соединенъ въ данномъ электролитѣ. Впрочемъ унивалентные іоны имѣютъ почти одинаковую подвижность, какъ въ соединеніи съ іонами унивалентными, такъ и съ бивалентными. Въ недавно вышедшей книжкѣ Кольрауша и Гольборна приведена таблица подвижностей всѣхъ наиболѣе извѣстныхъ уни- и бивалентныхъ іоновъ въ зависимости отъ концентраціи раствора и величины ихъ валентности. Пользуясь этою таблицею, можно вычислить молекулярную электропроводность для всѣхъ электролитовъ, составленныхъ изъ этихъ іоновъ, и для всѣхъ концентрацій, начиная отъ безконечно-малой до 0·1 нормальной.

Бо́льшая или меньшая подвижность іона обусловливается, очевидно, тѣмъ сопротивленіемъ (характера тренія), которое онъ встрѣчаетъ на пути своего движенія въ жидкости. Это сопротивленіе зависитъ отъ природы растворителя и растворимаго,

но въ растворахъ безконечно-разжиженныхъ вліяніе послѣдняго отступаетъ на второй планъ, и потому понятно, что въ водѣ всѣ іоны движутся со свойственною имъ скоростью, независимо отъ другихъ іоновъ. Однако съ усиленіемъ концентраціи несомнѣнно должно обнаруживаться вліяніе и растворенная электролита. Это вліяніе оказывается даже слишкомъ значительнымъ, чтобы его можно было приписать одному только увеличенію тренія въ растворѣ. Теорія диссоціаціи электролитовъ раскрыла намъ другую болѣе важную причину этого уменьшенія подвижностей іоновъ съ концентраціею.

Пользуясь числами подвижностей іоновъ, мы безъ труда можемъ вычислить абсолютныя скорости движенія ихъ въ растворахъ различной концентраціи и тѣ силы тренія, которыя имъ при этомъ приходится преодолѣвать. Скорости эти оказываются чрезвычайно малыми, тогда какъ силы тренія чрезвычайно большими. Такъ для іона водорода, самаго быстраго изъ всѣхъ, скорость движенія чрезъ воду (т. е. въ растворѣ безконечно разжиженномъ) при паденіи потенціала въ 1 volt/1 cm. достигаетъ всего 0·033 mm./sec., для іона натрія она 0·0046 и т. д. Что касается силъ тренія, то для одного грамма водорода эта сила равна почти вѣсу 300 милліоновъ килограммовъ, при скорости его движенія равной 1 cm./sec. Для другихъ іоновъ силы тренія еще больше, если ихъ относить къ ихъ граммъ-эквивалентамъ.

(Окончаніе слѣдуетъ)

Главная Палата мѣръ и вѣсовъ.

А. Н. Доброхотова.

Членамъ XI Съѣзда естествоиспытателей и врачей при ихъ посѣщеніи Главной Палаты мѣръ и вѣсовъ (21, 23 и 24 декабря 1901 г.) были показаны слѣдующія отдѣленія и приборы.

1) *Повѣрочная палатка торговыхъ мѣръ и вѣсовъ.* Здѣсь собраны всѣ образцовыя мѣры и вѣсы, какъ то: вѣсы обыкно-

венные до 3 пуд., до 10 ф. и до 1 фунта; вѣсы походные-складные, которыми пользуется повѣритель при своихъ разъѣздахъ; мѣры длины; компараторъ; гири; мѣры объемовъ. Изъ этихъ предметовъ особаго вниманія заслуживаютъ стеклянныя гири (стеклянные сосуды, наполненные дробью и запаянные), вводимыя въ настоящее время въ употребленіе Главною Палатою; гири эти по своей дешевизнѣ и полной гарантіи въ неизмѣняемости вѣса имѣютъ большое преимущество предъ металлическими (бронзовыми, чугунными).

Въ этомъ же отдѣленіи демонстрирована была образцовая *пурка* (приборъ для опредѣленія натурнаго вѣса зерна по небольшой пробѣ), выработанная въ Главной Палатѣ и предложенная ею въ качествѣ контрольнаго прибора для повѣрки обыкновенныхъ ходячихъ пурокъ (описаніе пурки см. „Временникъ Гл. Палаты", ч. 4 я).

2) *Отдѣленія для точныхъ взвѣшиваній.* На изолированномъ устоѣ помѣщены трое вѣсовъ: двое вѣсовъ до 1 килограмма (работы вѣнскихъ механиковъ Рупрехта и Немеца) и одни вѣсы Рупрехта до 75 килогр. На вѣсахъ Рупрехта до 1 килогр. были произведены всѣ работы по возстановленію русскихъ прототиповъ вѣса (см. „Временникъ", ч. 2-я). Вѣсы Немеца покрываются хорошо пришлифованнымъ къ подставкѣ стекляннымъ колпакомъ и даютъ поэтому возможность производить наблюденія въ разрѣженномъ (до 10 mm. ртутнаго столба) воздухѣ, а также въ различныхъ газахъ. Отсчеты колебаній, а также всѣ необходимыя манипуляціи для переноски гирь съ одной чашки на другую, накладыванія мелкихъ гирекъ—производятся въ этихъ вѣсахъ издали, при чемъ наблюдатель отдѣленъ отъ вѣсовой комнаты спеціальною перегородкою, вполнѣ предохраняющею вѣсы отъ вліянія теплоты наблюдателя. На этихъ вѣсахъ килограммъ можетъ быть взвѣшенъ съ точностью до 0·001 миллиграмма. На большихъ вѣсахъ Рупрехта 75 килогр. можно взвѣсить съ точностью до 5 миллиграммовъ. Это отдѣленіе (такъ же, какъ и слѣдующее—для точныхъ компарированій), находящееся въ центрѣ зданія, окружено со всѣхъ сторонъ теплыми коридорами и за ними рядомъ комнатъ; поэтому оно не отапливается, чѣмъ достигается постоянство температуры, необходимое при точныхъ работахъ. Изъ этой вѣсовой комнаты двѣ массивныя желѣзныя двери ведутъ въ несгораемыя кладовыя и въ одной изъ нихъ, въ особомъ несгораемомъ шкафу хранятся русскіе,

международные и англійскіе прототипы и ихъ основныя копіи вѣса и длины, какъ-то: русскій фунтъ, килограммъ, англійскій фунтъ Avoirdupois, аршинъ, метръ, изготовленные со всею тщательностью изъ платиноиридіеваго сплава (90% Pt и 10% Ir).

3) *Воздушный насосъ* (особаго устройства) съ электрическимъ двигателемъ (работы Lenox въ Лондонѣ) служитъ для быстраго выкачиванія воздуха изъ подъ колпака вѣсовъ Немеца, а также изъ замкнутаго пространства въ любомъ мѣстѣ Палаты, для чего отъ насоса проведены въ различныя помѣщенія Палаты мѣдныя трубки.

4) *Отдѣленіе для точныхъ компарированій.* На изолированномъ устоѣ помѣщенъ компараторъ (работы Траутона и Симса въ Лондонѣ); онъ даетъ возможность дѣлать сравненія мѣръ длины съ точностью до 0·5 микрона. Въ этой же комнатѣ установлена автоматическая дѣлительная машина, работы „Женевскаго Общества для изготовленія точныхъ приборовъ", имѣющая особое приспособленіе (кривую линію) для автоматическаго исправленія погрѣшностей въ нарѣзкѣ винта. Здѣсь же былъ демонстрированъ весьма чувствительный интерференціонный приборъ Физо-Пульхриха для наблюденія малѣйшихъ измѣненій разстоянія, напр. отклоненія солиднаго каменнаго устоя отъ давленія руки одного человѣка. Кромѣ того были показаны: а) большой колѣнчатый длиннофокусный (1·5 метра) микроскопъ, работы Цейса, дающій увеличеніе въ 100 разъ и позволяющій дѣлать наблюденія сидя, не выводя головы изъ нормальнаго положенія, б) вертикальный компараторъ Цейса для измѣренія толщинъ и в) часы (работы Hohwü) съ ртутнымъ маятникомъ, ходъ которыхъ совершенно точно (до секунды) свѣряется съ ходомъ нормальныхъ часовъ въ Пулковѣ.

5) *Отдѣленіе баро- и манометрическое.* Демонстрированы были приборы для повѣрки манометровъ и анероидовъ (работы Штюкрата въ Фриденау близъ Берлина), а также образцовый ртутный барометръ, подробно описанный во „Временникѣ", часть 2-я.

6) *Отдѣленіе термометрическое.* Показаны были: водородный термометръ, изготовленный въ Парижѣ по образцу того, который принятъ въ Международномъ Бюро мѣръ и вѣсовъ (описаніе его см. „Временникъ", ч. 4-я); затѣмъ — приборы для повѣрки 0°, 100° и промежуточныхъ точекъ ртутныхъ термометровъ, а также наглядно демонстрировано было вліяніе давленій наружнаго

(атмосфернаго) и внутренняго (давленія ртутнаго столбика) на показаніе чувствительныхъ термометровъ.

7) *Отдѣленіе фотометрическое.* Здѣсь установленъ фотометръ Бродгуна (работы Шмидта и Генша въ Берлинѣ), служащій для опредѣленія силы свѣта какого-нибудь источника по сравненію съ нормальною амилъ-ацетатною лампою Гефнера Альтенека. Тутъ же демонстрировалась фосфоресценція парафина и ваты, охлажденныхъ жидкимъ воздухомъ.

8) *Отдѣленіе для электрическихъ измѣреній.* Здѣсь показаны были эталоны сопротивленій, нормальные элементы (см. „Временникъ", ч. 5-я), приборы и установки для повѣрки электрическихъ счетчиковъ (ср. „Временникъ", ч. 4-я; въ одной изъ слѣдующихъ частей будетъ помѣщено подробное описаніе этого отдѣленія при Гл. Палатѣ).

9) *Машина Линде для сжиженія воздуха.* Машина эта при затратѣ 12 силъ даетъ возможность получать въ часъ 5 литровъ жидкаго воздуха. Демонстрирована была машина въ дѣйствіи, а также показаны были опыты съ жидкимъ воздухомъ: затвердѣваніе каучука; замораживаніе ртути, спирта, глицерина; воспламененіе ваты и стружекъ, пропитанныхъ жидкимъ воздухомъ; затвердѣваніе (кристаллизація) паровъ брома; спектръ поглощенія жидкаго кислорода; взрывъ смѣси спирта съ жидкимъ воздухомъ.

10) *Отдѣленіе для повѣрки образцовыхъ гирь повѣрочныхъ палатокъ.* Здѣсь по стѣнамъ, на кронштейнахъ, установленъ рядъ вѣсовъ (работы Эртлинга въ Лондонѣ) для различныхъ нагрузокъ: 2 klgr., 0·5 klgr., 0·1 klgr. и кромѣ того большіе вѣсы (работы Колло въ Парижѣ) до 50 klgr. Вѣсы защищены отъ наблюдателя во 1-хъ тѣмъ, что коромысло ихъ имѣетъ сверху и съ боковъ пластины изъ красной мѣди (хорошаго проводника теплоты), а во 2-хъ вѣсы помѣщены въ особый ящикъ, стѣнки котораго снаружи и внутри оклеены блестящею никкелированною бумагою, которая отражаетъ тепловые лучи. Въ этой же комнатѣ проф. Егоровъ демонстрировалъ явленіе Зеемана [1]). Близъ полюсовъ румкорфова электромагнита производилась электрическая искра между концами двухъ магніевыхъ проволокъ; лучи, идущіе перпендикулярно къ полю, направлялись на большую вогнутую рѣшетку Роланда (1000 дѣленій въ дюймѣ,

[1]) См. *Физическое Обозрѣніе* 2 т. (1901) стр. 284.

радіусъ кривизны 21 футъ); въ зрительную трубу разсматривался диффракціонный спектръ 3-го порядка; при замыканіи тока въ электромагнитѣ всѣ линіи спектра утроивались; въ трубѣ находился николь, и потому наблюдатель видѣлъ то одну среднюю линію, то двѣ крайнія, смотря по положенію этого николя.

11) *Гравировальная машина* (раб. Тэйлера въ Лондонѣ) для нанесенія надписей на металлической поверхности. Въ этой же комнатѣ установленъ компараторъ для повѣрки образцовыхъ мѣръ длины для повѣрочныхъ палатокъ.

12) *Отдѣленіе для повѣрки образцовыхъ вѣсовъ, гирь, мѣръ емкости* для повѣрочныхъ палатокъ. Для этой цѣли здѣсь имѣется: двое вѣсовъ Эртлинга для нагрузокъ до 2 пуд., одни вѣсы Эртлинга до 20 ф. и вѣсы Бунге до 1 килогр.

13) *Отдѣленіе для клейменія мѣръ и вѣсовъ.* Здѣсь установлены необходимые прессы, а также машина для нанесенія клейма на стеклянной поверхности посредствомъ песчаной струи, выбрасываемой изъ прибора воздухомъ, сжатымъ до 3/4 атмосферы.

14) *Машина Атвуда* для опредѣленія силы тяжести; нужные моменты отмѣчаются на хронографѣ Марея.

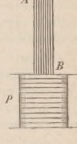
Императорская Военно-медицинская Академія.

Ѳ. Я. Терешина.

28-го декабря въ 2 ч. дня члены Съѣзда посѣтили Физическую Лабораторію Императорской Военно-медицинской Академіи.

Въ аудиторіи ассистентомъ при каѳедрѣ физики, Н. А. Орловымъ, были демонстрированы опыты Элію Томсона съ сильнымъ электромагнитомъ, питаемымъ перемѣннымъ токомъ, и опыты Тесла. Къ демонстрированію этихъ опытовъ, уже переставшихъ быть новостью, побудило главнымъ образомъ то обстоятельство, что лабораторія пользуется очень сильнымъ токомъ принадлежащей Академіи электрической станціи, при помощи коего упомянутые опыты поставлены въ масштабѣ, который не доступенъ большинству другихъ физическихъ кабинетовъ.

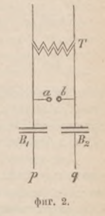
I. Опыты Томсона. Сердечникъ электромагнита AB (фиг. 1) состоитъ изъ вертикальнаго пучка (вышиною 72 cm. при 5 cm. въ діаметрѣ) желѣзныхъ проволокъ; катушка P изъ нѣсколькихъ оборотовъ толстой изолированной проволоки окружаетъ нижній конецъ этого пучка, а верхній обмотанъ изолирующею резиновою лентою. Массивное мѣдное кольцо (1·2 cm. въ діаметрѣ, вѣсомъ въ 100 gr.), свободно надѣтое на сердечникъ, съ силою сбрасывается и взлетаетъ кверху, при включеніи катушки въ цѣпь перемѣннаго тока. Если кольцо удерживать неподвижнымъ прикрѣпленными къ нему проволоками, то поглощенная имъ энергія перемѣннаго магнитнаго поля превращается въ тепло, и кольцо накаливается до самосвѣченія. Болѣе тяжелый, мѣдный дискъ (14 cm. въ діаметрѣ) съ прорѣзомъ по срединѣ, надѣтый на сердечникъ, поднимается до средины сердечника и свободно плаваетъ въ воздухѣ при замыканіи тока.



Фиг. 1.

II. Опыты Тесла. Большой трансформаторъ T (фиг. 2) съ масляною изоляціею, заключенный въ желѣзный кожухъ, установленъ подъ лекціоннымъ столомъ; онъ трансформируетъ однофазный токъ электрической станціи со 100 на 10000 вольтъ; такимъ образомъ трансформированный токъ заряжаетъ большую батарею лейденскихъ банокъ поверхностью, по приблизительному подсчету, около двухъ квадратныхъ метровъ, уединенную на стеклянной подставкѣ.

Въ первой серіи опытовъ съ токами большой повторяемости и высокаго напряженія батарея лейденскихъ банокъ раздѣлена на двѣ группы (B_1 и B_2); проводники отъ трансформатора ведутъ къ внутреннимъ обкладкамъ; разрядъ происходитъ при помощи разрядника ab съ цинковыми шариками, помѣщенными между полюсами электромагнита Румкорфа, питаемаго нѣсколькими аккумуляторами. Сильное магнитное поле, препятствуя образованію вольтовой дуги между шариками, создаетъ благопріятныя для колебательнаго разряда условія.

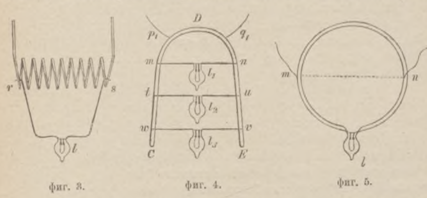


Фиг. 2.

Опытъ 1. Въ цѣпь наружныхъ обкладокъ лейденскихъ банокъ, между точками p и q включенъ развѣтвленный проводникъ rs (фиг. 3), одна вѣтвь котораго представляетъ нѣсколько оборотовъ очень толстой мѣдной проволоки, а въ другую включена обыкновенная калильная лампочка l. Въ такомъ проводникѣ постоянный токъ почти цѣликомъ проходитъ по спирали, но быстро чередующіеся токи колебательнаго разряда зажигаютъ лампочку.

Опытъ 2. Проводники p и q приведены въ соприкосновеніе съ точками p' и q' (фиг. 4) толстой проволочной дуги CDE; въ перекинутыхъ съ одной ея вѣтви на другую трехъ мостикахъ mn, tu и wv включено по лампочкѣ l_1, l_2, l_3. Наиболѣе ярко горитъ лампочка l_3, слабѣе l_2 и едва загорается l_1.

Опытъ 3. Проводники p и q подходятъ къ точкамъ m и n (фиг. 5) кольцеобразнаго проводника изъ толстой мѣдной проволоки.

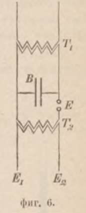


фиг. 3. фиг. 4. фиг. 5.

локи. Включенная въ проводникъ лампочка l свѣтитъ подъ вліяніемъ разрядовъ. Если же нижнюю половину проволочнаго кольца (вращеніемъ около діаметра mn) наложить на верхнюю половину, то лампочка гаснетъ.

Для второй серіи опытовъ схема измѣняется слѣдующимъ образомъ. Всѣ лейденскія банки собраны въ одну батарею B (фиг. 6), заряжающуюся перемѣннымъ токомъ трансформатора T_1 и разряжающуюся чрезъ разрядникъ E, описанный въ первой серіи опытовъ. На пути колебательнаго разряда введена первичная обмотка масляного трансформатора Тесла (T_2), устройство котораго въ общихъ чертахъ слѣдующее; въ вазелиновое масло (налитое въ деревянный кубическій ящикъ $120 \times 40 \times 55$ cm.) погружены коаксіально двѣ катушки: первичная изъ 16-ти обо-

ротовъ толстой проволоки—снаружи и вторичная изъ 800 оборотовъ тонкой—внутри, причемъ—во избѣжаніе искры между катушками—внутренняя катушка выступаетъ изъ наружной съ каждаго конца на 15 cm. Концы вторичной обмотки соединены съ толстыми латунными колонками, укрѣпленными въ широкихъ вертикально поставленныхъ стеклянныхъ трубкахъ, наполненныхъ масломъ. На вершины колонокъ надѣты латунные шары, сквозь которые проходятъ разрядники E_1 и E_2.



Фиг. 6.

Опытъ 4. Когда разстояніе между шариками разрядника E подобранно надлежащимъ образомъ, въ цѣпи $E_1 T_2 E_2$ получается колебательный разрядъ съ числомъ колебаній свыше 80000 въ секунду. При этихъ условіяхъ физіологическія дѣйствія отсутствуютъ: держа въ рукѣ металлическій стержень, можно при помощи его извлекать искры изъ кондукторовъ E_1 и E_2, не испытывая ни сотрясеній, ни сколько-нибудь замѣтныхъ сокращеній мышцъ. Наряду съ этимъ горитъ калильная лампочка (въ 250 volt), если одинъ ея борнъ соединить съ кондукторомъ E_1, а другой отвести къ землѣ. Лампочка также накаливается, если ее помѣстить между двумя лицами, изъ которыхъ одно отводитъ къ землѣ одинъ изъ барновъ лампочки, а другое, изолированное стеклянною скамейкою, одной рукой касается второго борна лампочки, а другую руку приводитъ въ соприкосновеніе съ кондукторомъ E_1 чрезъ посредство металлическаго стержня. Взявъ въ руки платиновую проволоку, поднесемъ одинъ ея конецъ къ кондуктору E_1 (или E_2); между ними перескакиваетъ искра; конецъ проволоки сильно накаливается, плавится и на немъ образуется шаровидная капля, испускающая яркій бѣлый свѣтъ.

Опытъ 5. Лехеровская трубка, помѣщенная въ полѣ кондукторовъ E_1 и E_2 на значительномъ отъ нихъ разстояніи, равномѣрно свѣтится по всей своей длинѣ. Подвѣшенныя къ кондукторамъ лампочки Теслы (съ незамкнутыми электродами въ формѣ прямыхъ угольныхъ нитей) наполняются ровнымъ свѣтомъ.

Опытъ 6. Раздвигая шарики разрядника E_1 и E_2, можно длину искрового потока увеличить до 60 cm.; дальнѣйшее раз-

движеніе ведетъ къ образованію тихаго разряда. Если теперь кондукторы разрядника соединить съ двумя проволоками, концы коихъ свернуты въ круги различныхъ діаметровъ, которые расположены концентрически въ одной плоскости, то между этими кругами образуется фіолетовое сіяніе; такимъ же сіяніемъ окружены и всѣ соединительные провода.

III. Н. А. Орловымъ и А. Н. Георгіевскимъ былъ показанъ слѣдующій опытъ съ жидкимъ воздухомъ. Стеклянная трубка *A* (фиг. 7) около метра длиною, открытая на одномъ концѣ, на другомъ раздута въ шаръ *B*. Трубка наполняется углекислымъ газомъ и погружается открытымъ концомъ въ ртутную ванну *C*. Если въ пробирку *m*, впаянную въ верхнюю часть шара, лить жидкій воздухъ, то пробирка покрывается снаружи бѣлымъ налетомъ твердой углекислоты; вслѣдствіе этого упругость газа въ трубкѣ уменьшается и ртуть въ ней поднимается. Если между впаенными въ шаръ электродами *a* и *b* пропускать разряды румкорфовскаго индуктора, то можно послѣдовательно наблюдать всѣ фазы разряды, начиная отъ искры и кончая катодными лучами.



Фиг. 7.

Физическій кабинетъ.

8) *Химическій гигрометръ.* Большую стеклянную бутыль запираютъ пробкою, въ которую вставлены: 1) манометръ и 2) воронка съ краномъ; въ воронку наливаютъ сѣрной кислоты, часть которой впускаютъ въ бутыль, послѣ чего опять запираютъ кранъ; впущенною въ бутыль сѣрною кислотою обмываютъ ея стѣнки и замѣчаютъ измѣненіе показанія манометра; отсюда заключаютъ объ упругости водяныхъ паровъ въ испытуемомъ воздухѣ.

9) *Электрофоръ.* Изготовленіе прибора было уже описано (*Физ. Обозр.* т. 1, стр. 142); замѣтимъ только, что дѣйствіе прибора значительно усиливается, если поверхность смоляного круга не оставлять гладкою, а сдѣлать шероховатою съ помощью стеклянной бумаги.